



2024年12月23日

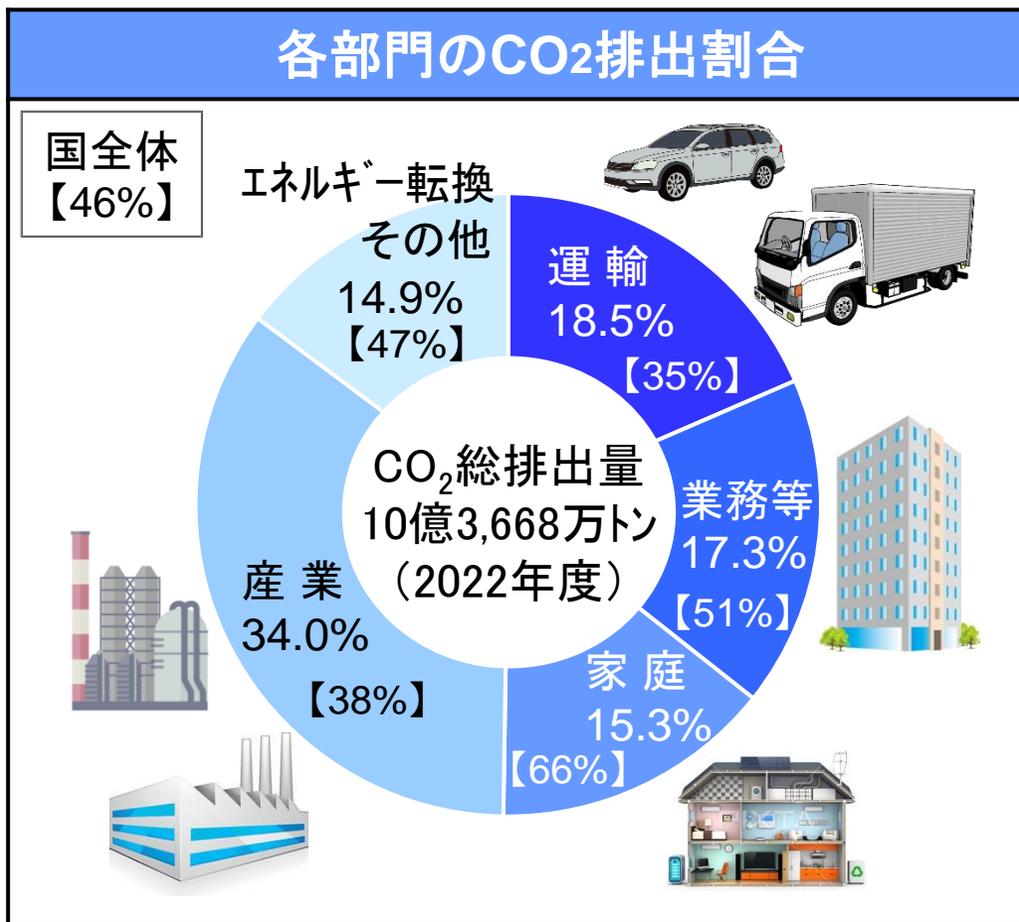
JARIシンポジウム2024  
2050年環境負荷ゼロに向けて  
～GXへの取組み～

自動車分野におけるカーボンニュートラルに向けた  
燃料エネルギーに関する将来展望

早稲田大学

大聖 泰弘

1. 運輸部門・自動車分野における温暖化効果ガスの排出の現状と今後の低減目標
2. 燃費基準に対する燃費改善技術
3. 各種の電動化技術
  - ・ハイブリッドとプラグインハイブリッド(HEVとPHEV)
  - ・電気自動車(BEV)      ・燃料電池車(FCEV)
4. 合成燃料に関する技術
5. 各車種の比較と今後課題
6. 結 言



運輸部門	万トン	割合%
自動車	16,452	85.8
自家用乗用車	8,609	44.9
自家用トラック	3,150	16.4
営業用トラック	4,142	21.6
バス	333	1.7
タクシー	140	0.7
二輪車	78	0.4
航空	970	5.1
内航海運	1,021	5.3
鉄道	738	3.8
合計	19,180	100.0

【 】: 2030年度に削減すべき対2013年度削減割合

国土交通省HP, 2024年

- ❑ わが国の自動車から排出されるCO<sub>2</sub>は全体の排出量の15.9%を占めている。
- ❑ 自動車用燃料需要: ガソリン = 4,475万kL (29.7%), 軽油 = 3,167万kL (21.05%)  
石油製品の約5割を占めている。(資源エネルギー庁「資源・エネルギー統計」より)

# わが国における2030年度温暖化効果ガス削減目標

[ 単位:百万トン-CO<sub>2</sub> ] ( ): 対2013年度削減比 %

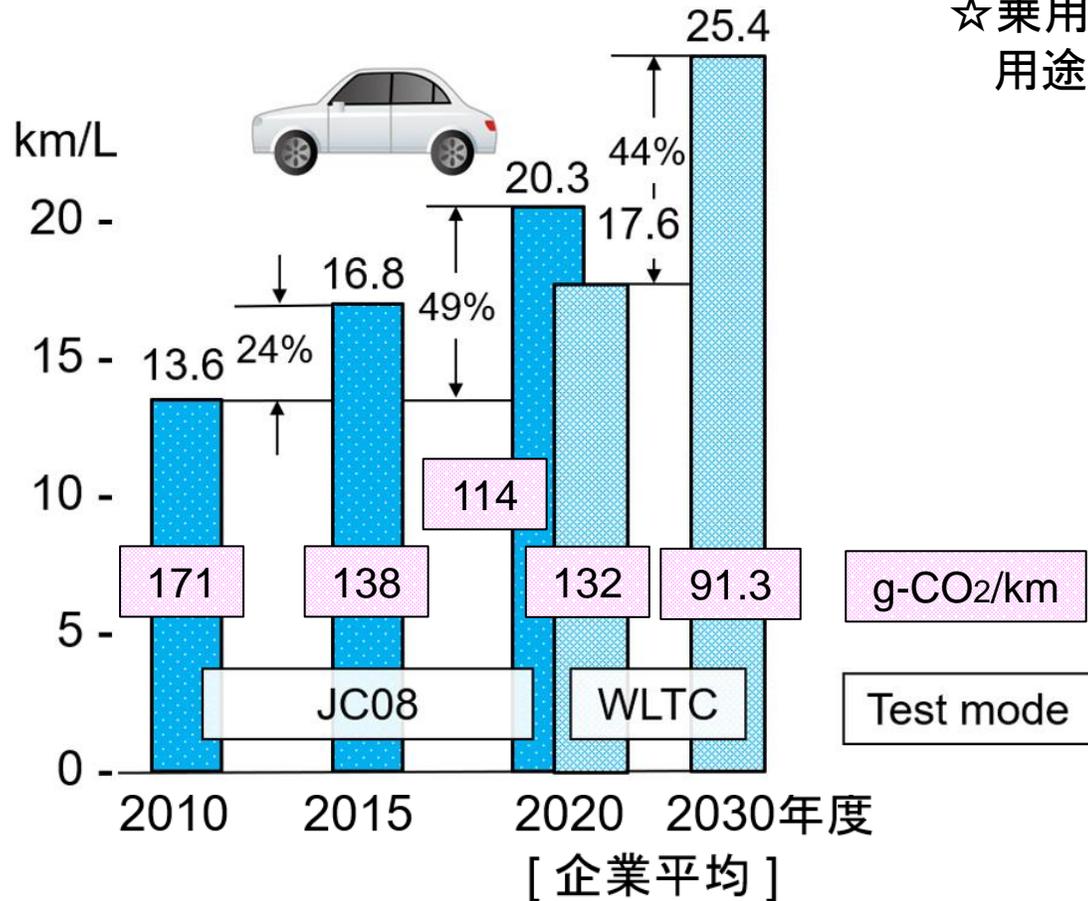
排出源・吸収源	2013年度実績(基準)	2022年度実績		2030年度目標排出量
		排出量	部門割合%	
エネルギー起源CO <sub>2</sub>	1,235	964 (▲22.0)	93.0	677 (▲45)
産業部門	464	352 (▲24.0)	34.0	289 (▲38)
業務 その他部門	237	179 (▲23.6)	17.3	116 (▲51)
家庭部門	208	158 (▲24.5)	15.3	70 (▲66)
運輸部門	224	192 (▲14.5)	18.5	146 (▲35)
エネルギー転換部門	103	82.9 (▲20)	8.0	56 (▲47)
非エネルギー起源CO <sub>2</sub>	82.2	72.6 (▲11.7)	7.0	70 (▲15)
(CO <sub>2</sub> 排出量の小計)	1,318	1,037 (▲21.3)	100	747 (▲43)
メタン(CH <sub>4</sub> )	29.1	30.4 (4.5)		26.7 (▲11)
亜酸化窒素(N <sub>2</sub> O)	21.9	17.6 (▲19.6)		17.8 (▲17)
代替フロン等4ガス(暦年)	39.1	52.4 (34.0)		21.8 (▲44)
森林等の吸収源対策低減量	▲54.3	▲53.6(1.3)		▲47.7 (+12.2)
(二国間クレジット制(JCM))	(官民連携で2030年度までに累積1億トンのCO <sub>2</sub> 削減を目指す。)			
総正味排出量	1,355	1,110(▲21.4)		760(▲46)

環境省, 「2022年度の温室効果ガス排出量について」, 2024年4月発表

国名		2030年削減目標(⇒強化)		乗用車分野における電動化の動向
	中国	60-65%	2005年比 (GDP当たり)	2035年, NEV(New Energy Vehicles: BEV, PHEV, FCEV) 50%, HEV 50%を目指す。トラック・バスのEV化にも注力している。
	EU	40%⇒55% (Fit for 55)	1990年比	Green Deal 政策により, 2035年, エンジン搭載の新車販売禁止としていたが, 合成燃料の利用で許容することに転換。(各国, 各メーカーで独自案を提示)
	日本	26%⇒46% (2030年度)	2013年度比	グリーン成長戦略を策定(2020/12/25), 2035年, 新車販売を電動車のみとする。GI事業やGX投資の施行。(運輸部門では, 2030年度に35%減を目指す。)
	米国	26-28% (2025年) ⇒50-52%	2005年比	2030年以降, HEVを除く電動車の販売50%を目指す。加州では2035年以降, BEV, FCEVのみとする。インフラ投資雇用法やインフレ削減法による支援。

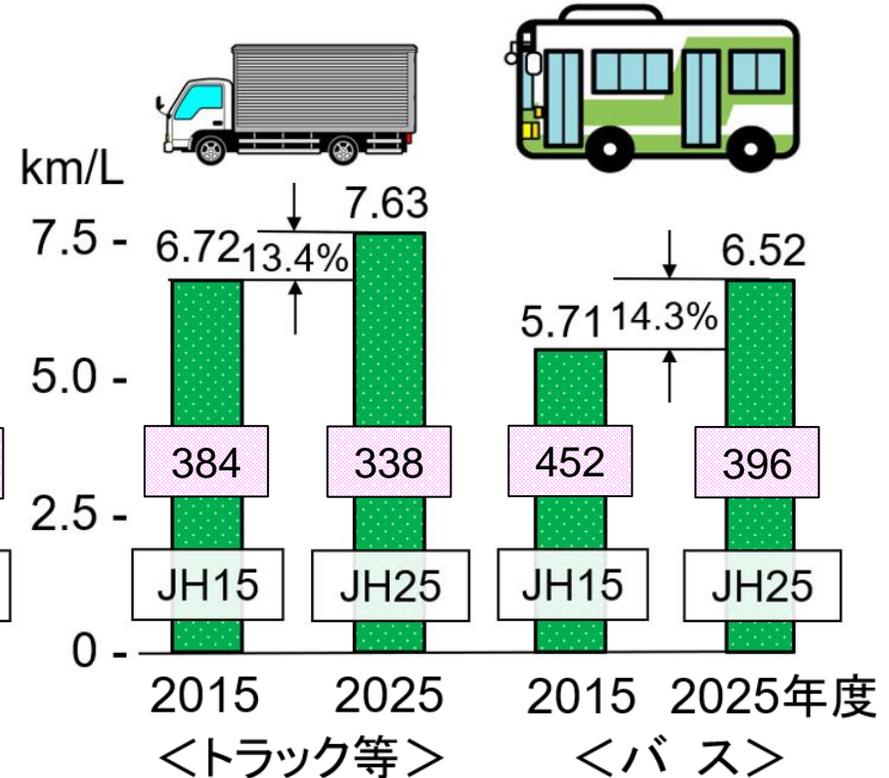
- ❑ 2050年にカーボンニュートラルを達成することに123カ国・1地域がコミット。(2020/12現在)
- ❑ 2021年4月に開催された気候変動サミットで2030年に向けて目標が強化された。(上表の「⇒強化」)
- ❑ 欧州自動車工業会のトラックメーカーは, 2040年までに欧州域内で化石燃料を使用するトラックの新車販売を停止すると発表。(2020年12月)
- ❑ 先進各国は2050年, 中国は2060年でのカーボンニュートラルを目指す。(米国新政権は脱退する?)

- 2030年度基準では, 2016年度実績比で約32.4%改善する。
- 2030年度基準では, BEV, PHEVは電源CO<sub>2</sub>を考慮して評価される。(WTW評価)



《乗用車》

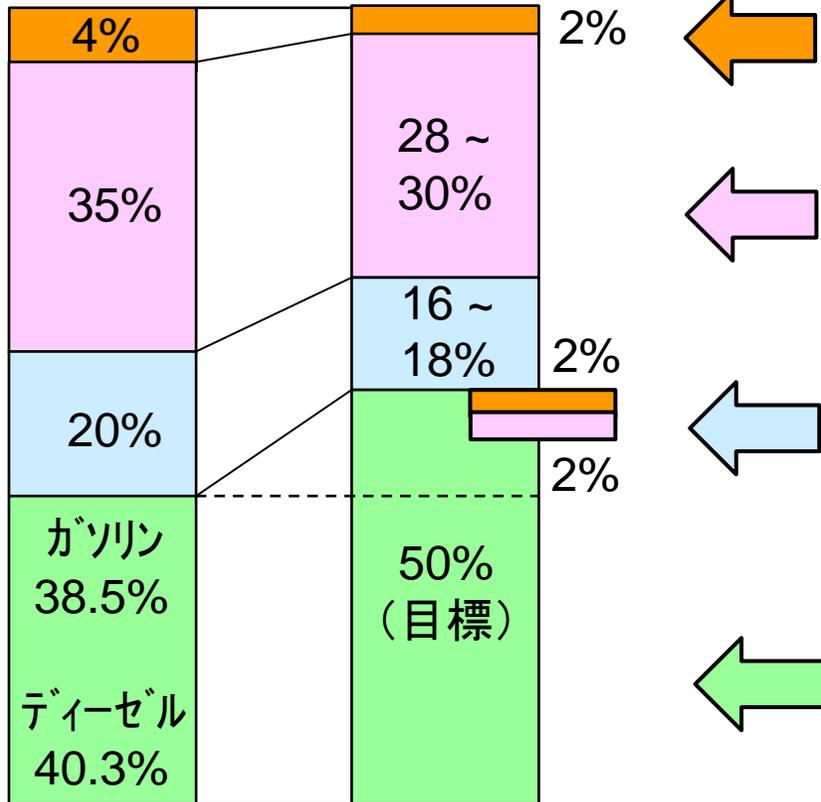
- 2015年度基準では, 2002年度実績比で約12%改善する。(世界初の基準)
- 普及がわずかなBEV, PHEV, FCEVは含まれないが, 新計測法による燃費と電費の報告が求められる。
- ☆乗用車よりも燃費改善が難しいのが現状であり, 今後, 用途に対応した電動化や低炭素燃料の利用が不可欠。



《重量車》

～乗用車用エンジンにおける究極の目標、正味熱効率50%を達成～

《エネルギーバランス》



《エンジン技術項目》

- 機械摩擦損失の半減(高面圧・低粘性化)
- 排気エネルギー有効利用
  - ・ターボ過給の高効率化(60数%達成)
  - ・排熱回収(熱電素子の利用)
- 熱損失の低減
  - ・超リーンバーン
  - ・シリンダ内流動の適正化
  - ・分散噴霧ディーゼル燃焼
  - ・遮熱材の利用
- 図示仕事の増大(図示熱効率の改善)
  - ・燃焼の改善 ガソリン:リーンバーン, ロングストローク化
  - ディーゼル:高分散燃焼, ロングストローク化

☆2020年から2030年における実用化を目指し、今後の従来車やHEV, PHEVの20～30%の燃費改善にも寄与する。産学の研究組織“**AICE**”，さらに“**ZEMコンソシアム**”へと発展している。

# 【ゼロエミッションモビリティパワーソース研究コンソーシアム】



## <目的・設立趣旨(2020年4月)>

SIP「革新燃焼」の成果を受け、エンジンシステムを中心とするパワーソースの研究を通じて、モビリティのゼロエミッション化の実現を目指す。また、大学関係(アカデミア)の会員とSIPで支援を得た“AICE”(自動車用内燃機関技術研究組合)を中心とする企業メンバーと緊密に連携して活動を推進する。

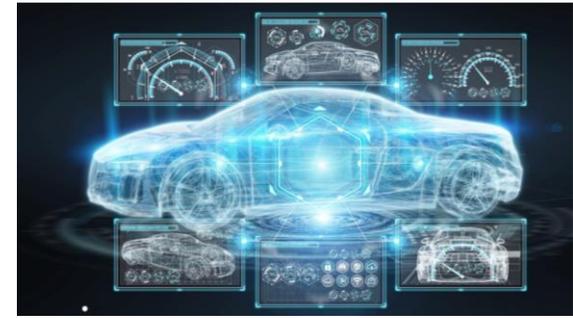
## <活動内容>

- ・産学のニーズ・シーズマッチングによる研究立案, 公的予算の獲得・研究の実施
  - ・安全な研究実施体制確立の支援や実験設備の有効活用に資する情報の提供
  - ・モビリティパワーソースに関するデータベースの構築と運用
  - ・学生・若手研究者等将来を担う人材の育成
  - ・産学の研究活動や技術情報を共有する場として行事開催やデジタル環境を整備
- ☆後述する「グリーンイノベーション基金事業」(合成燃料事業)の一部を担当

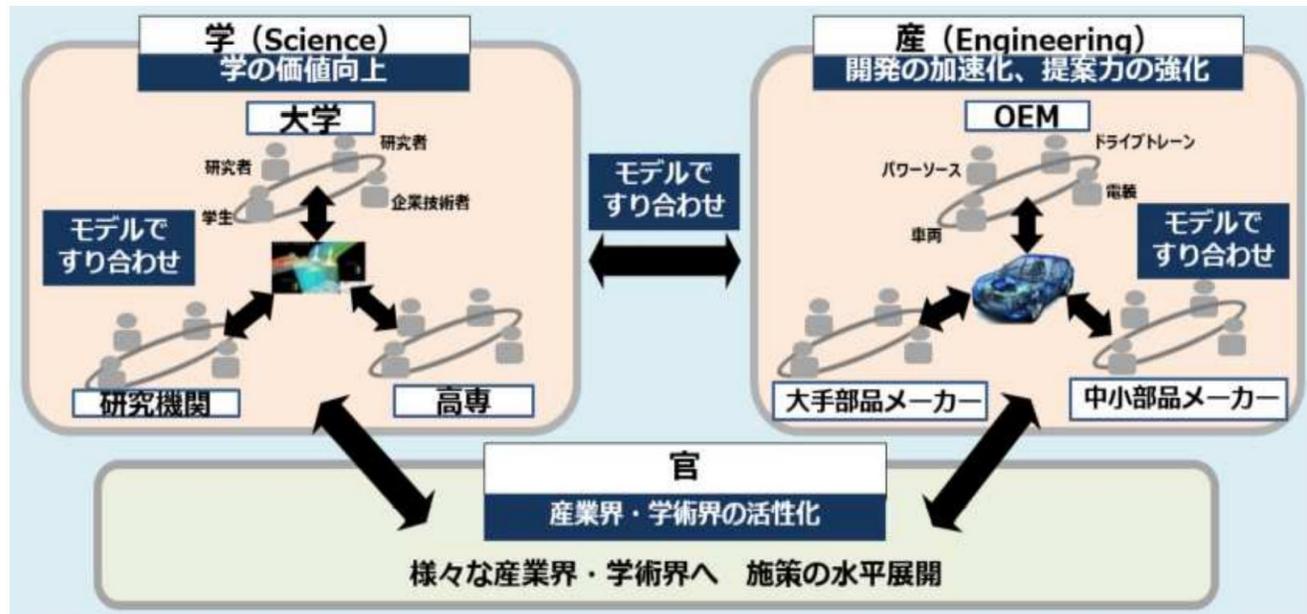
## 現在のメンバー

アカデミア会員数: 141名  
 特別会員数: 78社  
 (AICE組合員11 + 同共同研究企業67)

- ・概要: MBD開発技術の普及促進, 企業間・産学間でのモデル流通の仕組みの構築し, それを活用した日本流の高度なすり合わせ (SURUAWASE2.0)を実現することで, 日本の自動車産業全体の国際競争力を高めることに貢献する。
- ・組織: 2012年7月に任意団体として発足, 翌年4月に一般社団法人に移行し, 現在181の企業・団体・大学等が参加している。
- ・英語名: **J**apan **A**utomotive **M**odel-**B**ased **E**ngineering Center (略称: JAMBE)



<産学官の連携イメージ>



< 出典: <https://www.jambe.jp> >

**MBD推進センター(運営会員10社)**  
 アイシン、ジャトコ、SUBARU、デンソー、トヨタ自動車、日産自動車、パナソニック、本田技研工業、マツダ、三菱電機

---

**AICE : OEM 9社、2団体**  
 会員 : 74社

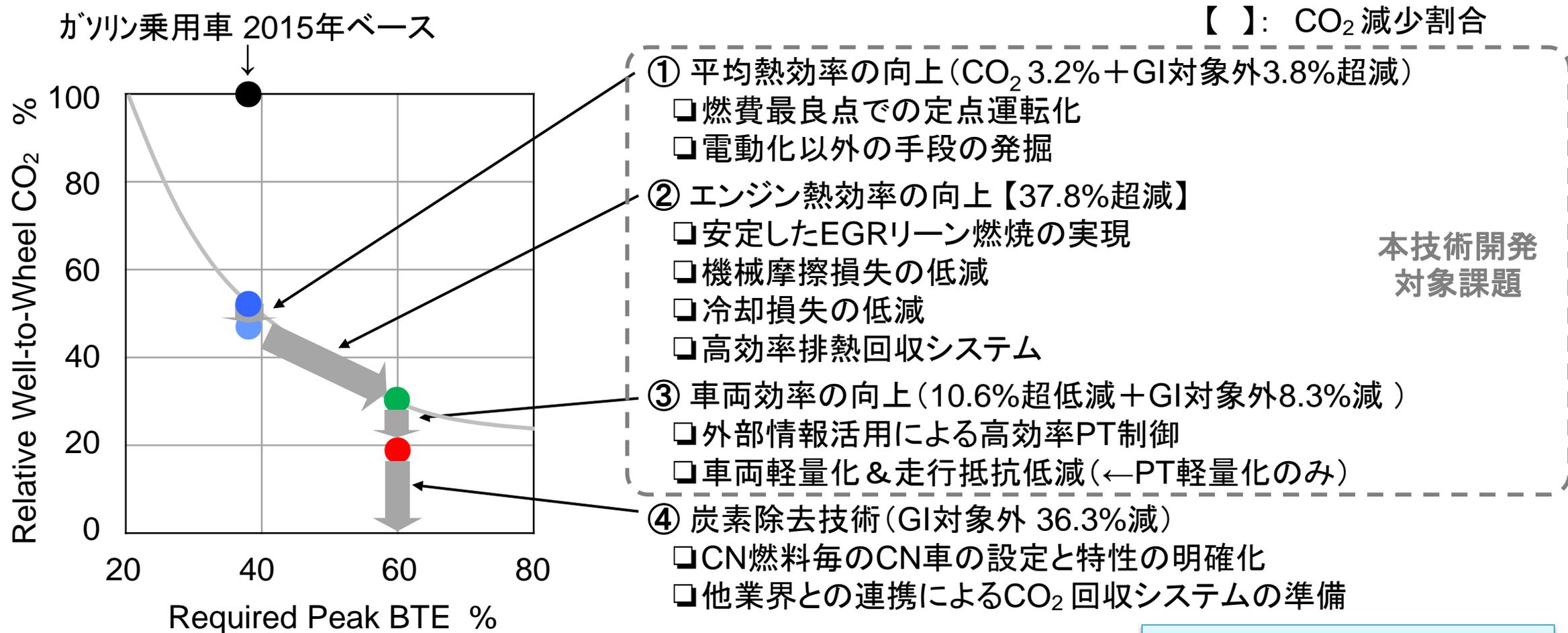
---

**TRAMI : OEM 11社**  
 会員26社以上

---

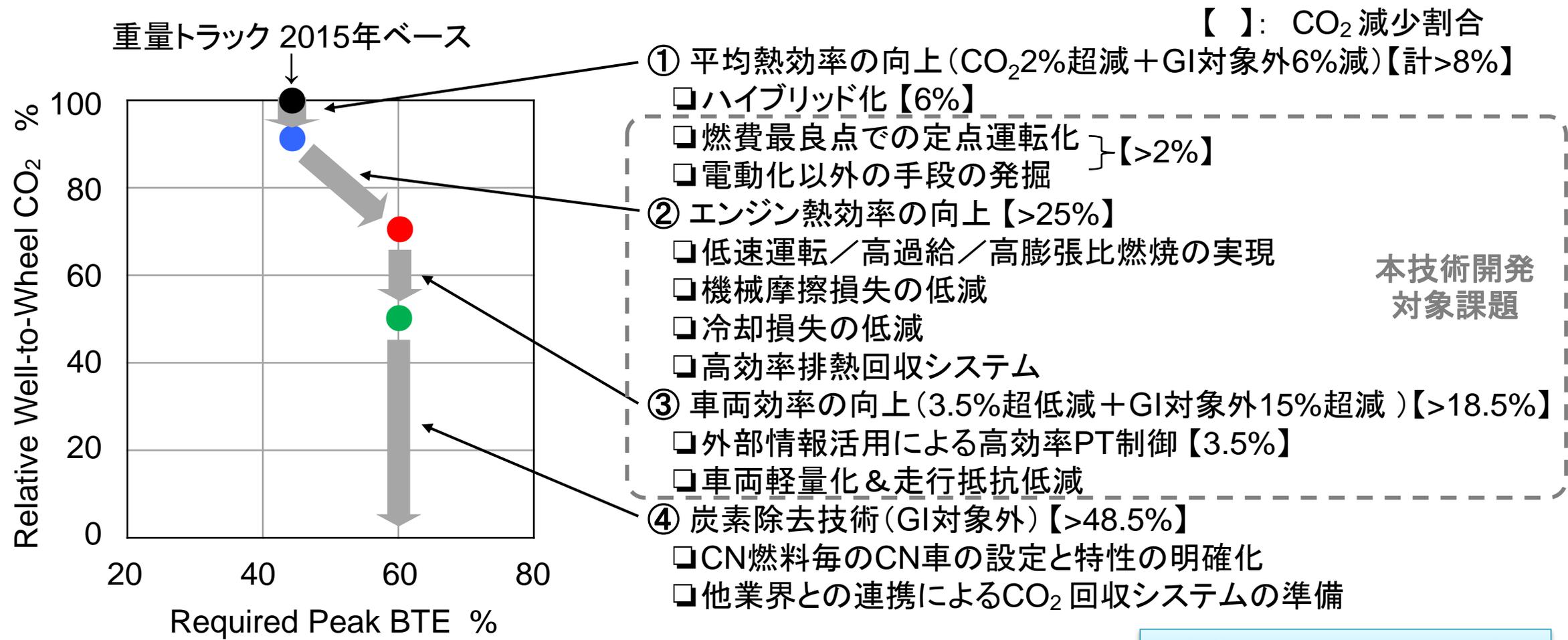
**JasPar : 237社**  
 (内、幹部5社・正会員101社)

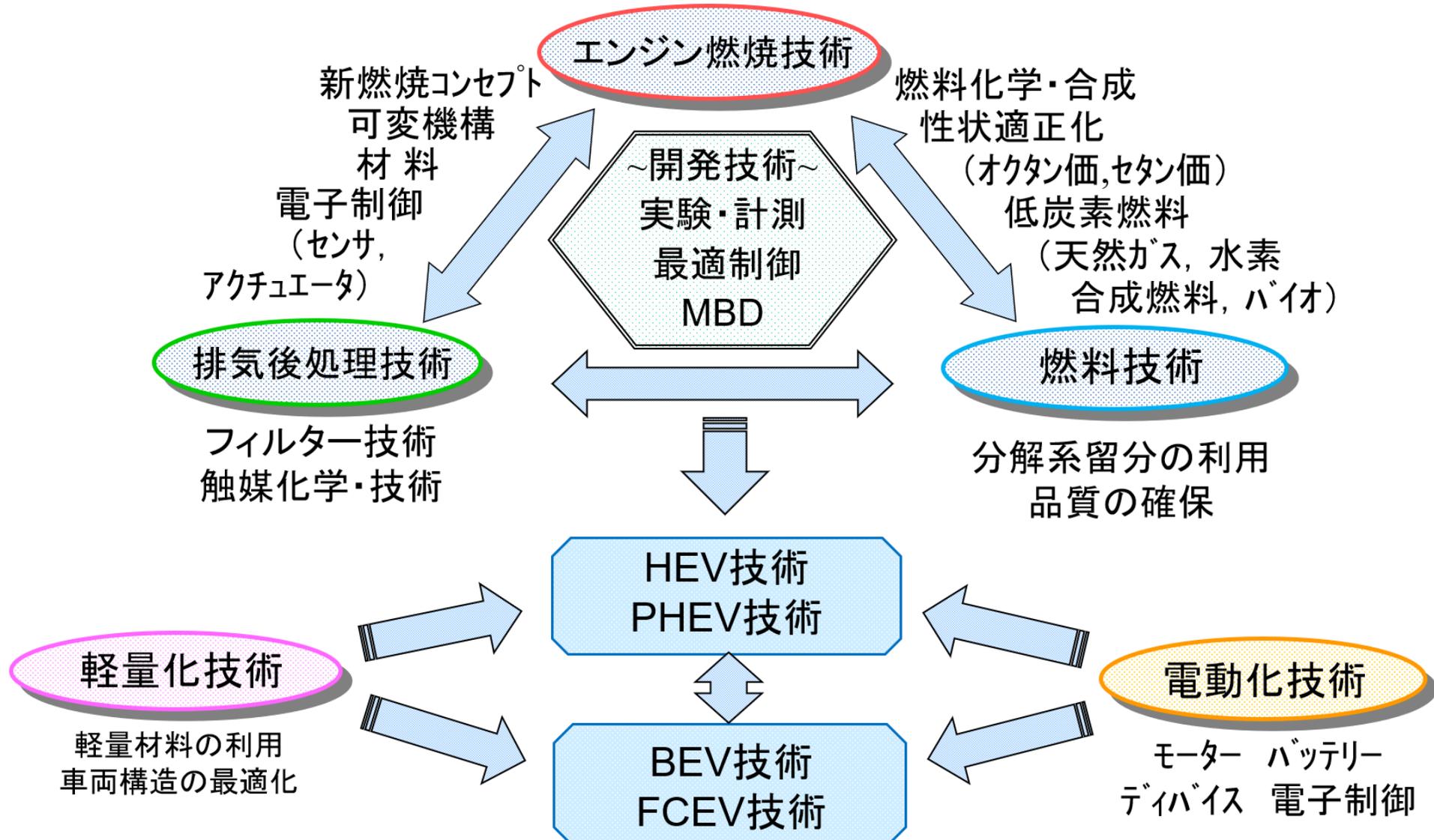
現行のHEVに対して、走行中のCO<sub>2</sub>排出量(Tank-to-Wheel CO<sub>2</sub>)を2分の1以上削減するための要素技術としてガソリンエンジンの熱効率向上技術、車両走行時の平均熱効率向上技術、車両効率向上技術、革新的排気後処理技術を開発する。  
 ・予算:45億円(ディーゼル車を含む) ・期間:2022-27年度 ・体制:AICE・産学官連携



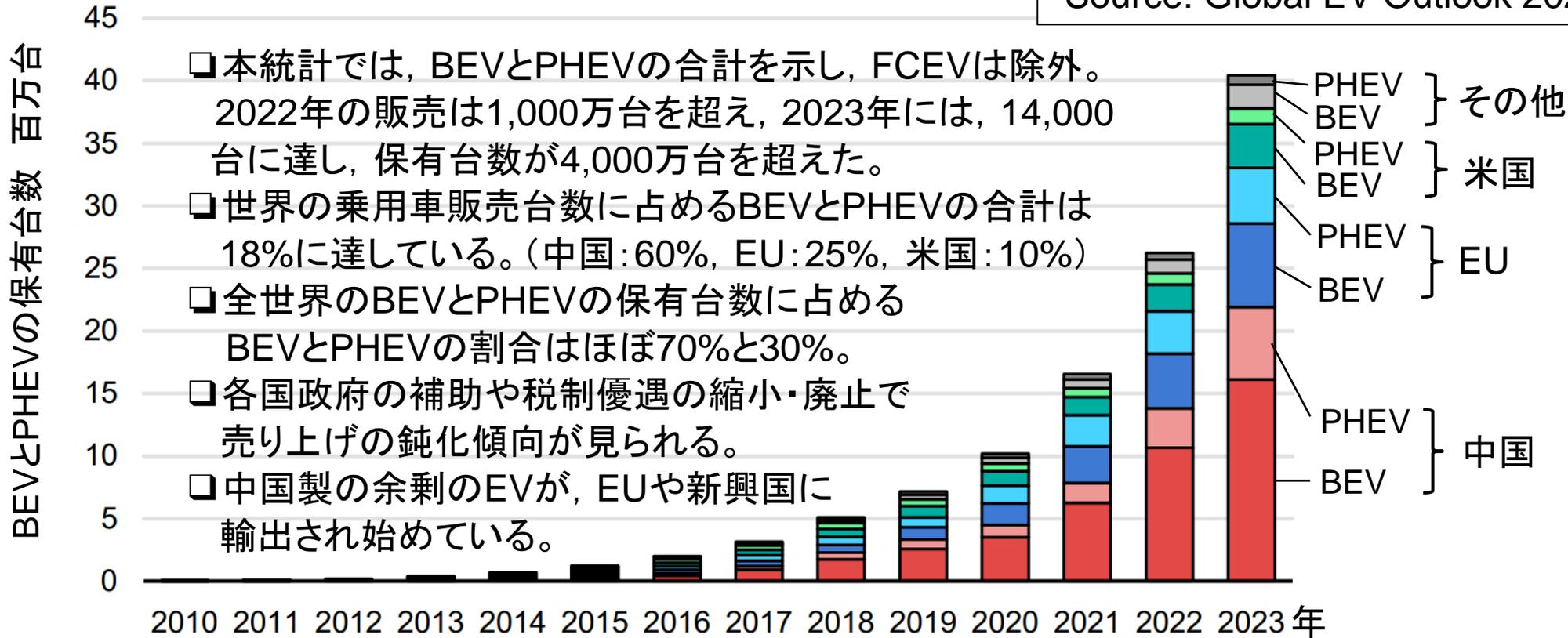
# グリーンイノベーション(GI)基金事業「乗用車と重量車の合成燃料利用効率の向上とその排反事象の改善に関する技術開発」(大型商用車の部)

既存の大型商用車に対して、最高熱効率55%超、TtWCO<sub>2</sub>排出量を4分の1以上削減するための要素技術として、同車用ディーゼルエンジンの熱効率向上技術、車両走行時の平均熱効率向上、車両効率向上技術、革新的排気後処理を開発する。  
 ・予算:45億円(ガソリン車を含む) ・期間:2022-27年度 ・体制:AICE・産学官連携



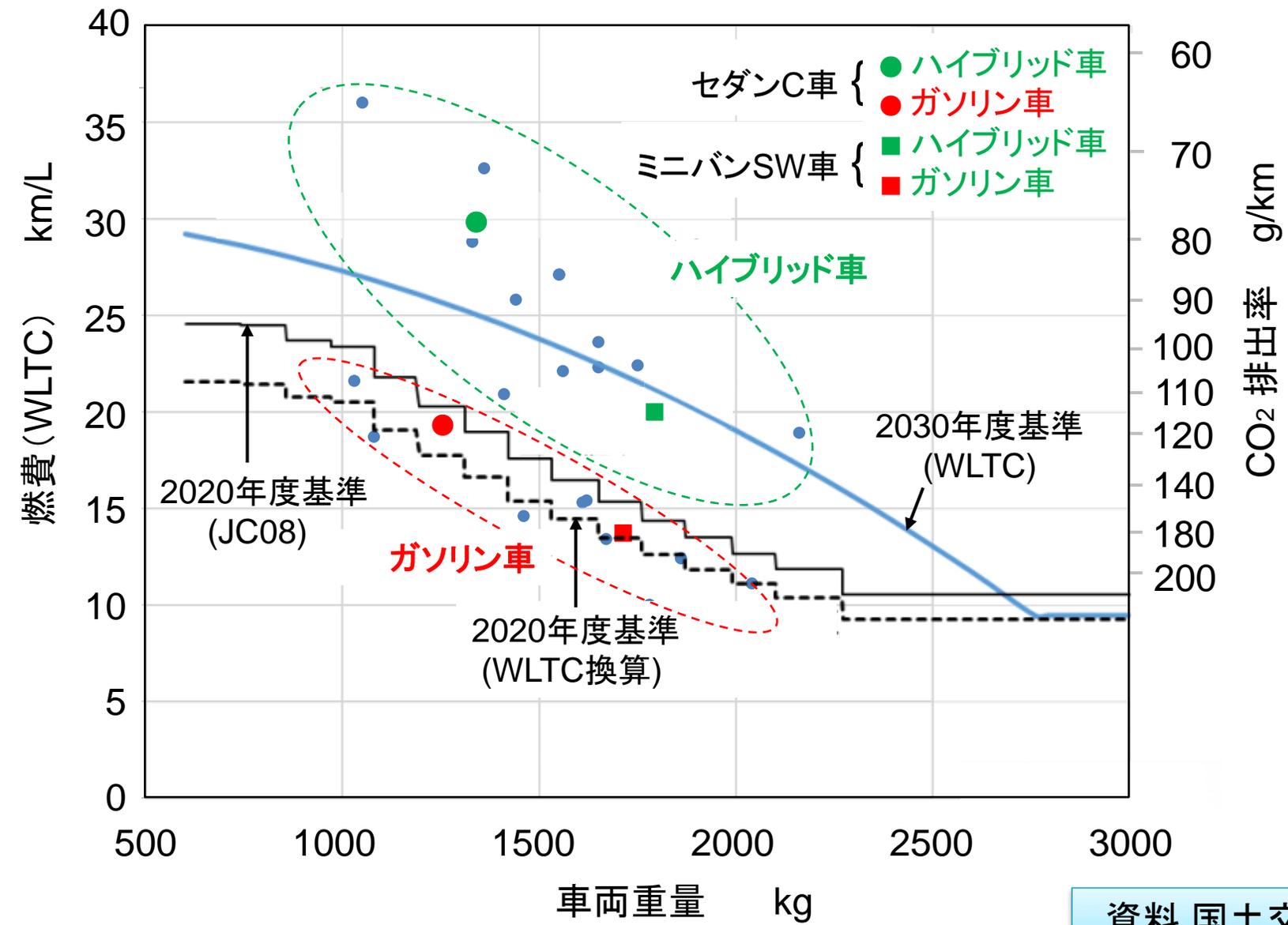


Source: Global EV Outlook 2024, IEA

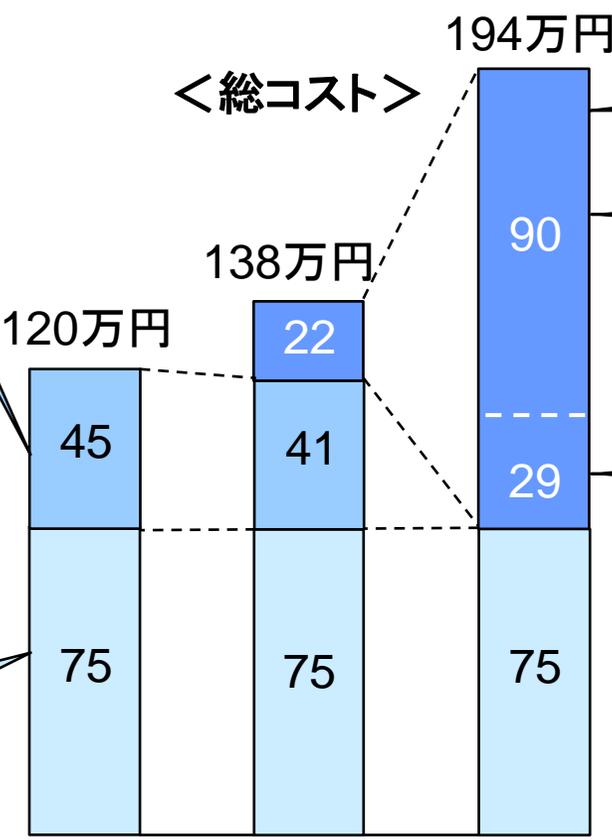


- 本統計では、BEVとPHEVの合計を示し、FCEVは除外。  
2022年の販売は1,000万台を超え、2023年には、14,000万台に達し、保有台数が4,000万台を超えた。
- 世界の乗用車販売台数に占めるBEVとPHEVの合計は18%に達している。(中国:60%, EU:25%, 米国:10%)
- 全世界のBEVとPHEVの保有台数に占めるBEVとPHEVの割合はほぼ70%と30%。
- 各国政府の補助や税制優遇の縮小・廃止で売り上げの鈍化傾向が見られる。
- 中国製の余剰のEVが、EUや新興国に輸出され始めている。

□BEVの需要急増と国際紛争の勃発によって、バッテリーの原材料(Li, Co, Ni)をはじめ、モーター関連材料(Nd, Dy, Cu)が高騰し、部品類のコストの増大が車両価格の上昇を招いている。  
 □それらのサプライチェーンの確保が自動車メーカーにとっての重要な課題となっている。  
 □商用車やバスのBEV化は特に中国で進んでいるものの、全体としてはまだわずかである。



ガソリン部分コスト	45
エンジン	20
吸気系	1
排気系	3
燃料タンク・配管	2
トランスミッション	13
冷却・空調	6
共通部分コスト	75
車体・外装	20
内装	15
シャシー	20
電装	10
塗装・組み立て	10



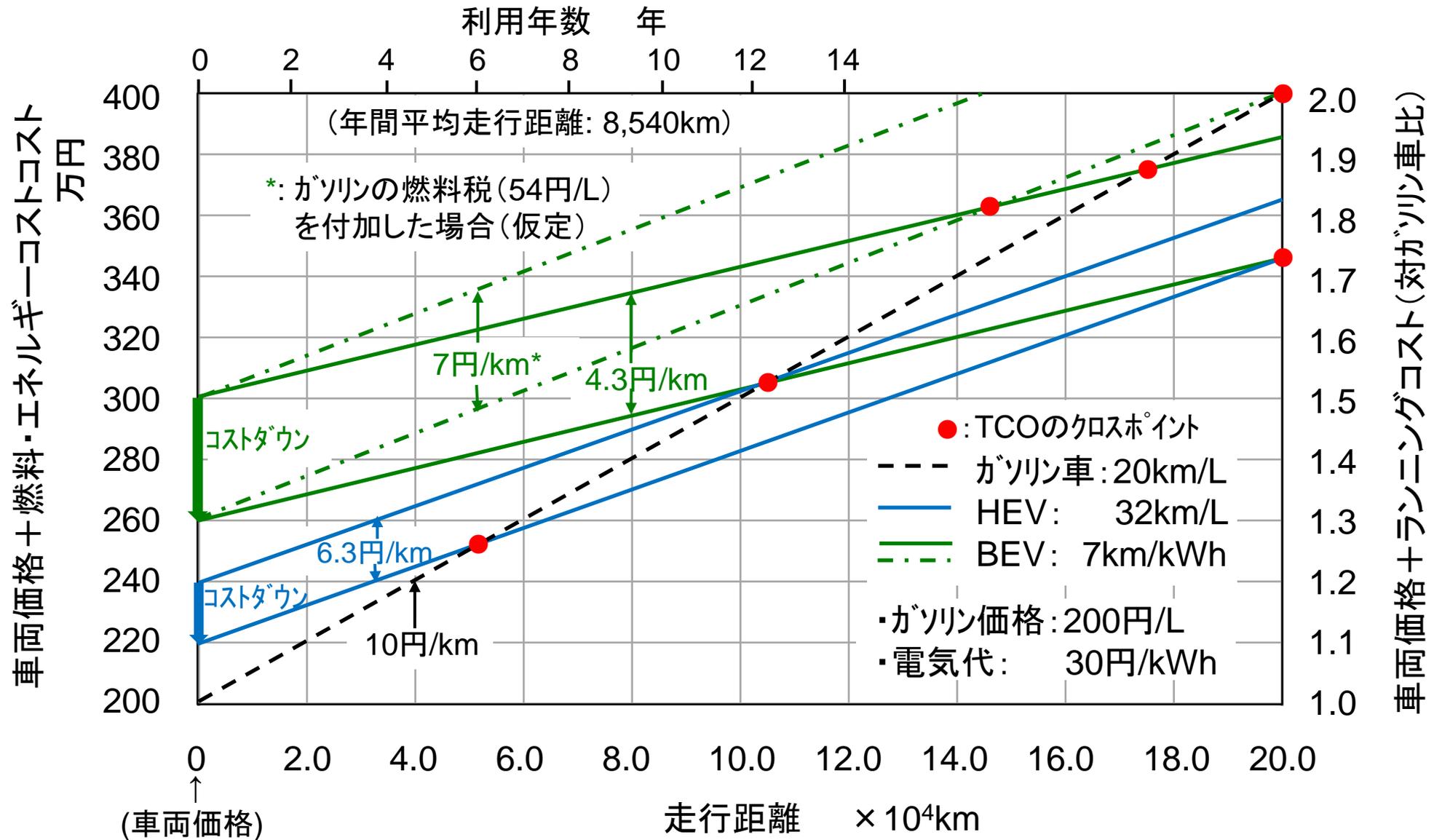
単位: 万円

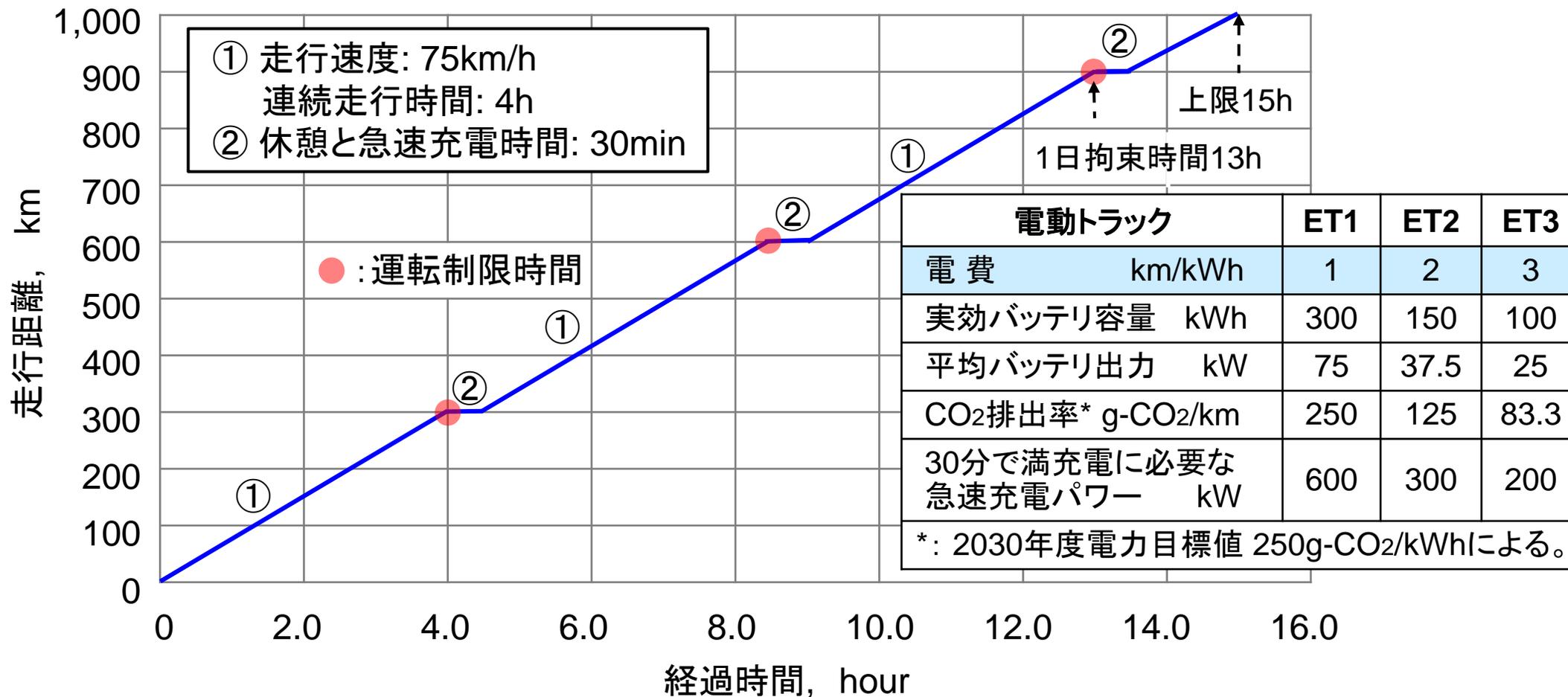
BEV専用部分コスト	119
バッテリー (容量: 40kWh)	90
モーター	5
インバーター, DCDCコンバーター, 充電器	12
高電圧ハーネス	3
減速機	2
冷却・空調	7

ガソリン車 HEV BEV

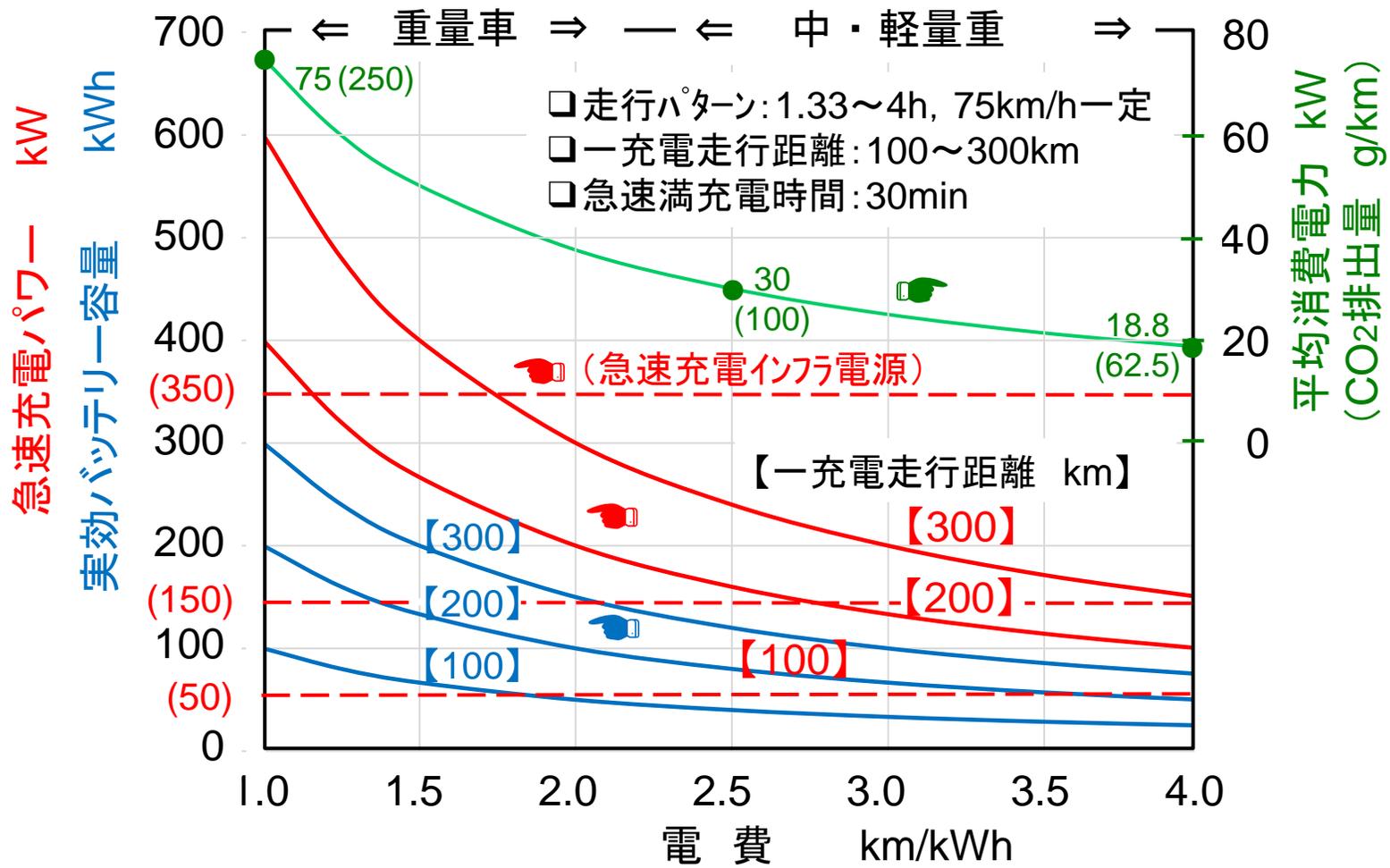
(出典: 日経, マークライズ, 2021年3月)

- ガソリン車の市販価格は200万円程度
- コストは直接原価で, 管理費, 開発費, 型償却費は含まない。
- バッテリーコストは国内流通価格を参考に算出。
- ☆バッテリーコストの概ね半減がBEVの普及に向けた課題。
- ☆わが国の目標: パッケージで1kWh当たり1万円(グリーン成長戦略, 2021年)





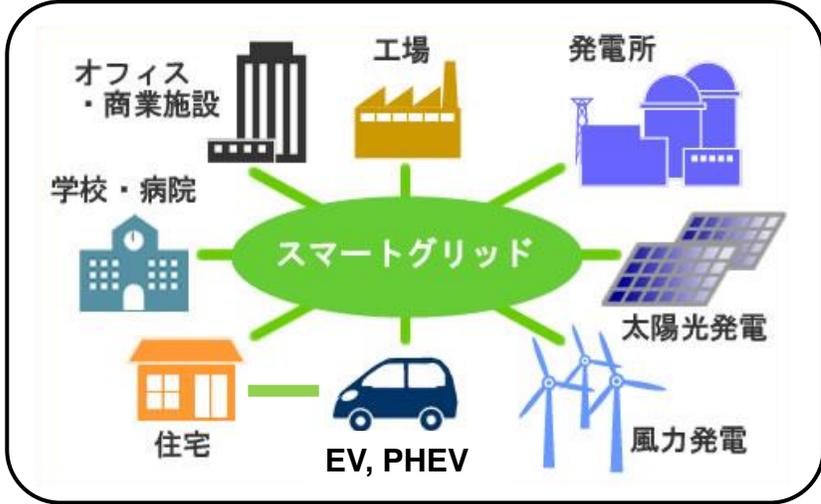
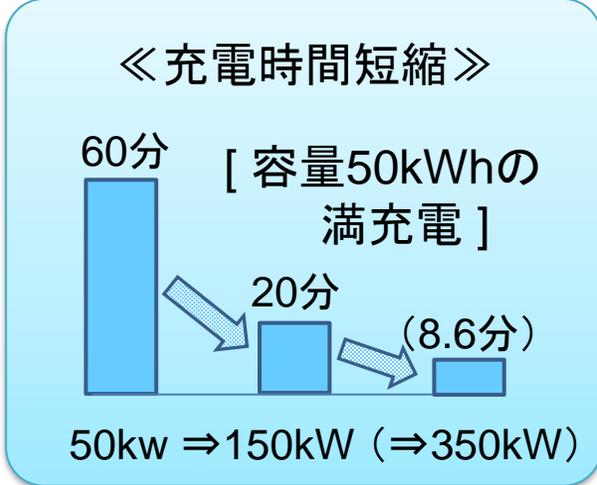
- ❑ 運転者は連続運転4時間毎に30分の休憩を確保する規則に対応して、高速道路の走行を想定し、75km/hで走行(制限速度:80km/h)で、300kmを4時間走行した後、休憩時間の30分で急速充電を行うものとする。
- ❑ 電費1~3 km/kWhで、バッテリー容量100~300kWhとすると、200~600kWの急速充電パワーが必要。
- ❑ 自動車メーカー、トラック運送事業者、急速充電事業者、電力事業者、道路事業者の連携協力が不可欠。



□ 複数の重量車の急速充電には、低炭素な大容量電源の設置と充電スペースの確保が課題。  
 □ 平均消費電力(18.8~75kW)に対応し、上り坂の出力と下り坂の回生に必要な性能のモーターとバッテリーを装備すれば、PHEVやレンジ・エクステンダーも成立する可能性がある。

- 普通充電では、3kW～6kWから10kWへ。
- CHAdeMO方式：全世界での普及を目指す急速DC充電方式として、中国方式（チャオジ（ChaoJi））との規格統一を図っている。その一方、欧米の CCS規格（コンボ）と競合している。また、Tesla社の独自規格 NACS が急速に普及している。
- CHAdeMO規格の高出力への改訂（2017年～2020年）
  - ✓ 現状 ・10kW - 50kW （500V-125A）
  - ✓ 電池容量増大への対応と充電時間の短縮
    - ・150kW - 200kW （500V-400A）
    - ・350kW - 400kW （1,000V-400A）
  - ✓ 長距離走行する重量EVでは、50kWを超える電源が必要。普及により増大し変動する電力需要のマネジメントと、低コストの低炭素電力の利用が重要な課題である。
    - ・スマートグリッド、デマンド・レスポンスで対応。
    - ・負荷調整用発電・蓄電システムが不可欠。
- 車載バッテリーをV2X（X: Home, Grid, Building）で再エネを含め充電と給電に利用する。
- 2030年を目途に、30～60分程で満充電できる急速充電器を3万基まで増やし、全体で15万基から30万基を新目標とする。

電力コスト大幅増大が課題  
⇒ 従量制課金の導入

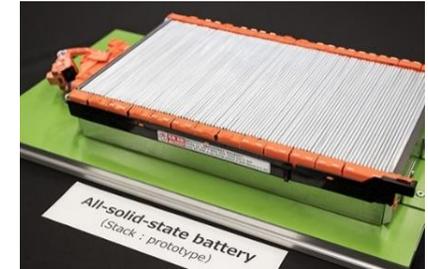


<参考：G成長戦略（2021年5月）、充電インフラ整備促進に向けた指針（経産省、2023年10月より）>

- 高エネルギー密度バッテリーの開発
  - ・リチウムイオンバッテリーの改善 (250~280Wh/kg)
  - ・全固体リチウムイオンバッテリーの開発 (300~400Wh/kg) <sup>1)</sup>
  - ・先進バッテリーの開発 (>500 Wh/kg)
- 高出力急速充電システムの普及
  - ・長距離輸送では、高出力システム(400~800kW)が必要
  - ・わが国では、現状 20~180kW
- バッテリー交換システムの利用<sup>2)</sup>
  - ・交換時間は数分で、利便性の点で有用 ・標準化が必要
  - ・トラック運行とバッテリー交換の管理システムの構築が必要
- 走行中給電システム(ERS: Electric road systems)
  - ・パンタグラフ型<sup>3)</sup>
  - ・路面レール型<sup>4)</sup>
  - ・非接触型(重量車の適用は今後の課題)
  - ・搭載バッテリー容量の最適化が必要

☆いずれも、システム全体で大幅な低コスト化と信頼耐久性を達成した上で、低炭素電力の利用が必要。運送事業者、荷主、自動車メーカー、充電事業者、電力事業者間の連携・協力が不可欠。

トヨタ,  
2023年10月<sup>1)</sup>



いすゞ,  
2023年10月<sup>2)</sup>



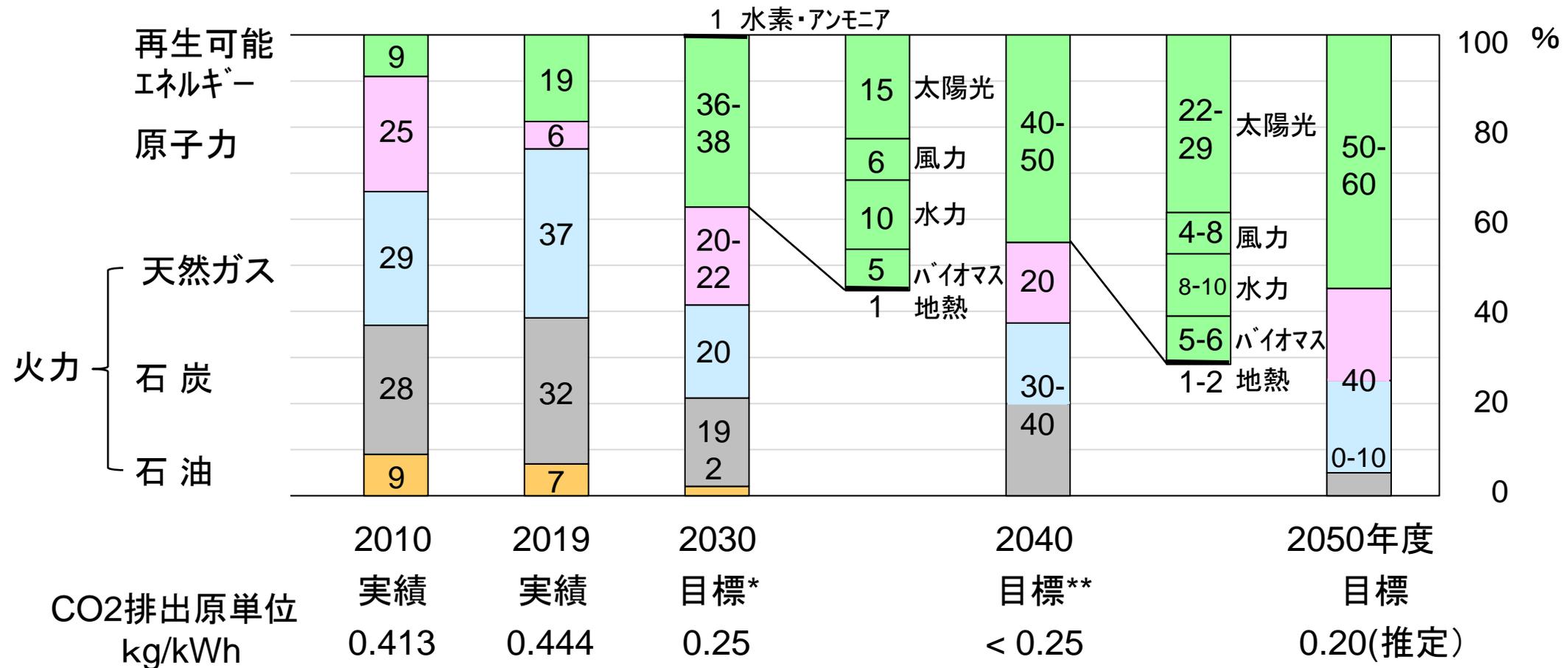
独, Siemens, 2018年<sup>3)</sup>



スウェーデン, Elways, 2020年<sup>4)</sup>

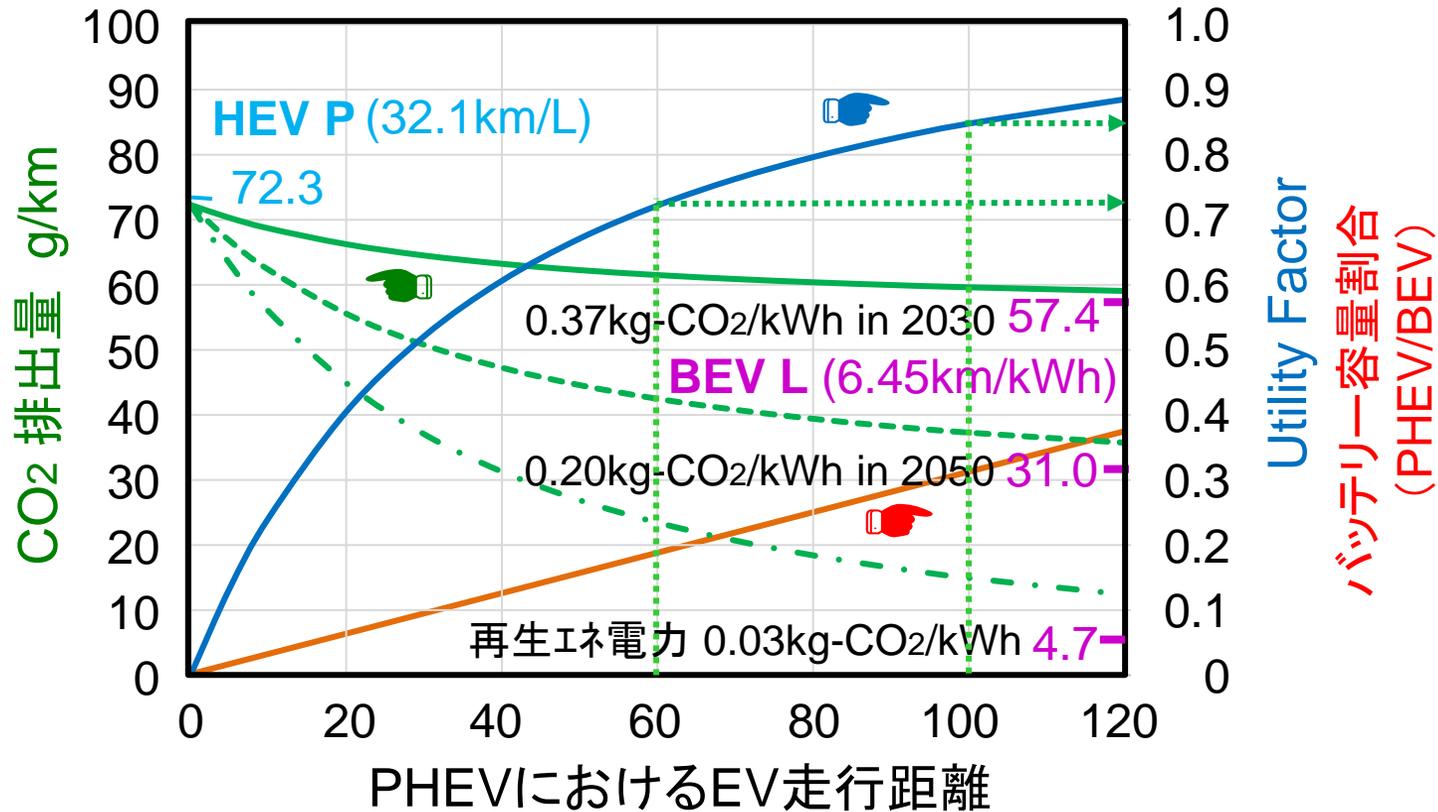


# エネルギー基本計画における電源構成(経産省, 2021年, 2024年) 20



□第6次エネルギー基本計画の電源構成\*では、2030年度の目標として、再生エネを拡大し、火力は減らし、原子力は据え置くとした。発電需要は、2019年度の10,240億kWhから2030年度には9,340億kWhへと9%減少すると予想。(2021年7月) 2024年末に第7次計画案として2040年度の構成目標\*\*が示された。

□変動する再生エネ電力を出来る限りEVやPHEVの充電に利用する電力マネジメントが必要である。



- 仮定: BEVはN社のL車, HEVはT社のP車とし, PHEVでは両者の電費と燃費特性(WLTPによる)を有するとし, 充電用電源の2030年, 2050年, 再生エネ電力のCO<sub>2</sub>排出量を想定。
- PHEVでは, 60~100km EV走行する場合, HEV運転割合は28~15%となり, CO<sub>2</sub>の一層の低減効果があり, 充電施設の負担も軽減する。また, 電源と燃料の低炭素化も奏功する。
- 自動車技術会「2050年自動車はこうなる」(2017年発刊)では, PHEVがHEVからBEVへの「橋渡し役」, あるいはBEVとの共存の役割を果たすと予想している。

☆水素は、再エネ電力で製造し、貯蔵・輸送するエネルギー媒体として、発電やモビリティ燃料、製鉄、化学工業用原料となる有用性から全世界的に注目されている。

□水素価格の低減目標と調達 (究極:13.3円/Nm<sup>3</sup>)

・現状:100円/Nm<sup>3</sup>, 2030年頃:30円/Nm<sup>3</sup>, 2050年:20円/Nm<sup>3</sup>  
(発電単価換算では各々, 17円/kWh, 12円/kWh, 8.7円/kWh)

・2030年, 40年, 50に海外調達含め各々 **300, 1,200, 2,000万t/年**の確保目指す。

□2050年に向けた革新的関連技術の着実な開発が必要。

・高効率な水電解・人工光合成, 水素高純度化透過膜等の新製造技術

・高効率水素液化機・長寿命液化水素保持材料

・低コストで高効率なエネルギーキャリア

・小型・高効率・高信頼性・低コストなFC

・水素とCO<sub>2</sub>を利用した新化学品合成方法

□水素ステーションとFCEVの普及目標(下表)

・商用トラックの普及に重点を置く。(国内市場保有台数320万台以上のうち一部を占める。)

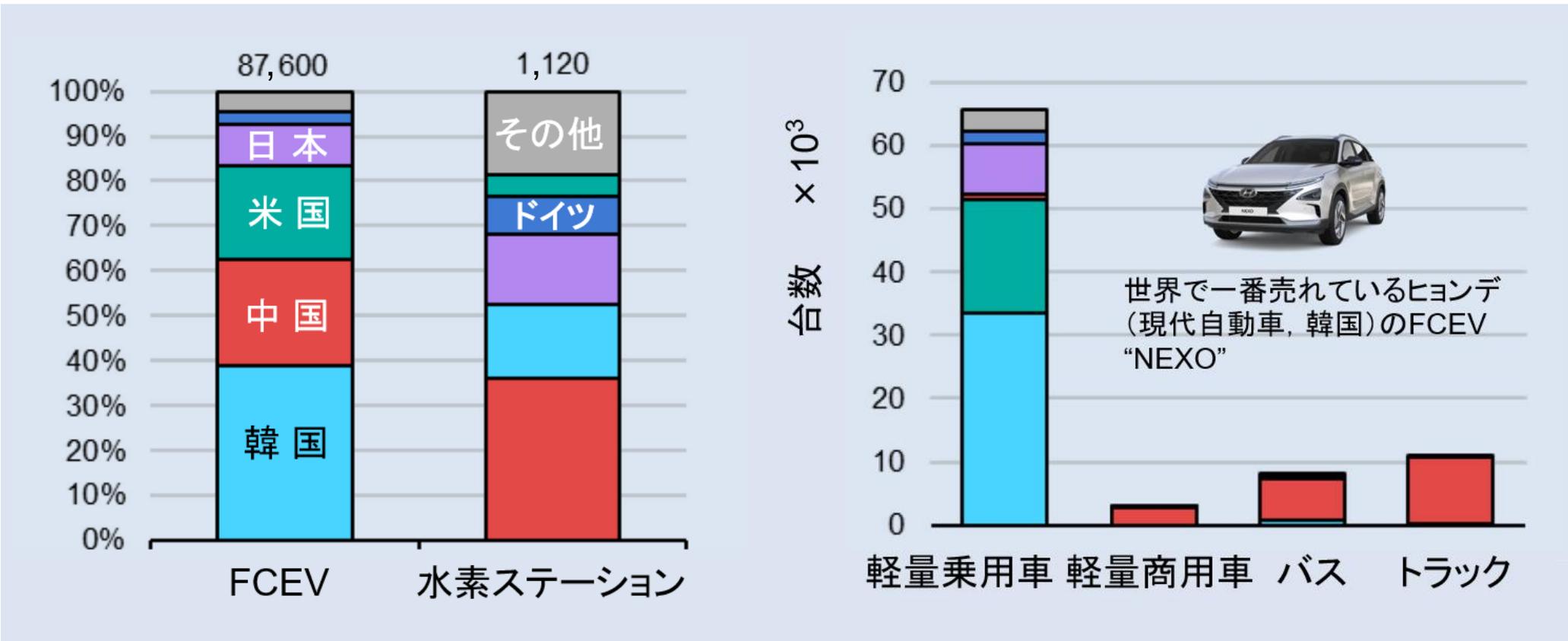
□ステーション事業:2020年代後半に経営自立化。(設置費用:3.3億円(2019年)⇒2億円)

☆GX推進法  
2023年5月成立  
再エネ水素の活用  
☆水素基本戦略  
2023年7月改定  
☆水素社会推進法  
2024年10年施行

□多車種展開, 複数メーカーの参入  
□国際基準調和の先導と貢献  
□国際的な技術連携体制の構築

水素100万tは  
熱量換算で  
軽油338万kLに  
相当する。

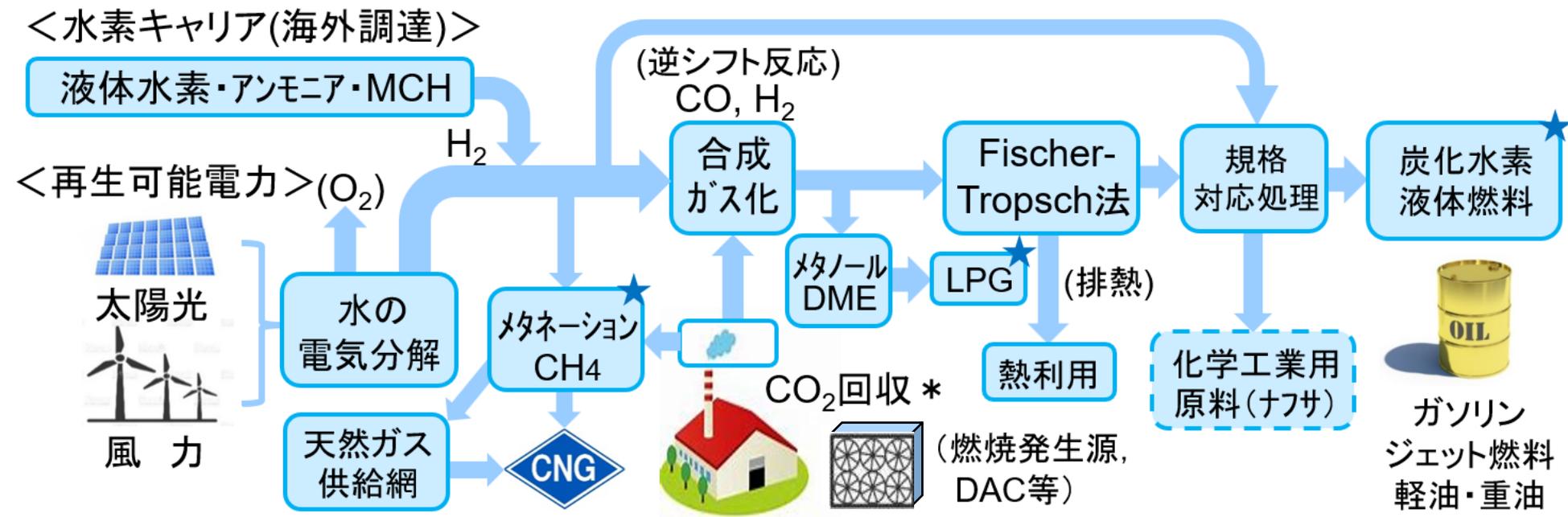
水素ステーションと保有台数	2022年8月	~2025年	~2030年	~2050年
水素ステーション・箇所	178	320	900⇒1,000	≪
FC乗用車・台数	7,418	200,000	800,000	≪
FCバス・台数	120	—	1,200	≪
FCフォークリフト・台数	397	—	10,000	≪
エネファーム・基数	350,000	—	5,300,000	≪



- FCEVの保有台数と水素ステーションの設置数は、BEVと充電スポットに比べてわずかである。
- 中国では、FCトラック・バスの普及に注力している。(一部でトヨタ自動車の技術支援がある...。)
- 今後は、低コストで低炭素な水素の生産とその供給インフラの適正配置を検討する必要がある。

比較項目	HEV(P車)	BEV(L車)	FCEV(M車)
燃料・エネルギー消費(WLTC)	32.1km/L(ガソリン)	6.45km/kWh	152km/kg-H <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> 排出量 g/km	72.3	(現状, 全国平均)	-
・2023 / 30 / 50年での平均電力利用	-	69.8 / 38.7 / 31.0	141 / 118 / 64
・再エネ電力利用(仮定 0.03kg/kWh)	-	4.65	9.60
燃料エネルギー単価 現在~将来	200~400円/L	35~12円/kWh	1,120~224円/kg
年間燃料エネルギー消費量/台	266L	1,324kWh	56.2kg (630Nm <sup>3</sup> )
年間燃料エネルギー経費	53,200~106,400円	46,340~15,900円	62,900~12,600円
100万~1千万台普及時総消費量	26.6~266万kL	1,324~13,240GWh	5.62万~56.2万t-H <sub>2</sub>
100万~1千万台普及時電力消費割合	-	0.142~1.42%	0.293~2.93%

- 乗用車の年間平均走行距離: 8,540km/年 (国交省資料)
  - わが国の年間電力消費量: 9,340億kWh(2030年度)
  - 電力のCO<sub>2</sub>排出量(kg/kWh): 0.45(2023年度)/0.25(2030年度)/0.20(2050年)
  - 水の電気分解によるH<sub>2</sub>1kg生成に必要な理論電力量: 140MJ/kg-H<sub>2</sub> = 38.9kWh/kg-H<sub>2</sub>
  - FCEV1台当りの年間必要電力量: 2,186kWh, 電気分解効率80%とすると, 2,733kWh
- ☆水素の大量利用には安価な海外調達を推進する必要がある。



- ★: 2022年4月, グリーンイノベーション基金(NEDO)の合成燃料事業として採択されている。
- 共電解法により, H<sub>2</sub>OからのH<sub>2</sub>生成とCO<sub>2</sub>からCOへの還元を同時に行う方法, H<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>から直接FT合成を行う方法も検討される。\* : CCU: Carbon Capture and Utilization の一種である。
- エンジン車, HEV, PHEVに対してCO<sub>2</sub>をWell-to-Wheelで削減する効果があると見られるが, LCAによる効果の検証が必要である。普及初期では, 従来燃料への混合利用(ドロップイン)が想定される。
- エンジン車やHEV, PHEV, 給油スタンドを含む供給システムを継続的に利用する上で大いに期待されているが, 合成効率の向上, 大幅な低コスト化, 量的供給が不可欠。(現状, 700円/L ⇒ 将来, 200円/L)
- H<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>からメタネーション反応により, e-メタンを生成する方法もあり, 天然ガスラインへの混合や圧縮天然ガス(CNG)車用燃料に利用する。
- バイオマスを高温ガス化し成分調整により合成ガスとしてFT合成する方法もある(BTL)。

合成燃料研究会「中間取りまとめ」(経産省, 2021年4月)

各製造ケース	製造コスト 円/ℓ-Fuel			
	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	燃料	総額 (\$/ガロン)
A. 国内の水素を利用して製造する	634	32	33	700 (20.4)
B. 海外で32.9円/Nm <sup>3</sup> で水素を製造し, 14.65円/Nm <sup>3</sup> で日本に輸送して製造する。	301			350 (10.2)
C. 海外で32.9円/Nm <sup>3</sup> で水素を製造し, 海外で製造する。	209			300 (8.7)
D. 海外で20円/Nm <sup>3</sup> で水素を製造し, 海外で製造する。(2040年以降)	127			200 (5.8)

**【発熱量コスト】**

- ・合成燃料  
200円/ℓ  
**6.06円/MJ**  
**21.6円/kWh**
- ・水素  
20円/Nm<sup>3</sup>  
**1.85円/MJ**  
**6.66円/kWh**

\* コストは合成燃料の1/3!

<想定> (1) 国内電力価格:20円/kWh以下 (2) 海外電力価格:1~2円/kWh+輸送コストほか  
合成燃料1ℓの製造に要する H<sub>2</sub>:6.34Nm<sup>3</sup>(0.570kg), CO<sub>2</sub>:5.47kg

- 2040年前後での商用化に向けて, H<sub>2</sub>価格:20円/Nm<sup>3</sup>でもガソリン・軽油の価格(税抜き)に比べて高価。
- H<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>の大量調達先と製造プラントの設置場所は何処に(海外)?
- 中間取りまとめを受けて, グリーンイノベーション基金の合成燃料事業(ENEOS)の採択に繋がっている。
- 「合成燃料(e-fuel)の導入促進に向けた官民協議会」が発足している。(経産省, 2022年9月)

## <グリーンイノベーション基金事業の一環として採択(NEDO, 2022年4月19日発表)>

### ○液体燃料(輸送用燃料)

#### (i) 合成燃料

【研究開発項目 ①】液体燃料収率の向上に係る技術開発(最大7年間, 約558億円)

テーマ: CO<sub>2</sub>からの合成反応を用いた高効率な液体燃料製造技術の開発: ENEOS

- ・2022~2025年度: 要素技術開発及び 160L/day ベンチプラントで検証
- ・2025~2028年度: 50kL/day パイロットプラント

(将来: ~2040年: 1,600kL/day プラント(約50万kL/年の粗油生産))

【研究開発項目 ②】燃料利用技術の向上に係る技術開発(最大6年間, 約45億円)

テーマ: 乗用車および重量車の合成燃料利用効率の向上とその背反事象の

改善に関する技術開発: 自動車用内燃機関技術研究組合(AICE)

- ・課題: 燃料組成, オクタン価, セタン価, 蒸留特性, 粘性等の影響を検証し, 適切な性状を提案する。硫黄や芳香族成分がゼロである利点を活かす。

【2023年度】  
ガソリン需要: 4,451万kL  
軽油需要: 3,123万kL

これに必要な量  
H<sub>2</sub>: 28.5万t/年  
CO<sub>2</sub>: 274万t/年

(ii) 持続可能な航空燃料(SAF)(最大5年間, 約457億円) 出光興産

### ○気体燃料(産業用・家庭用)

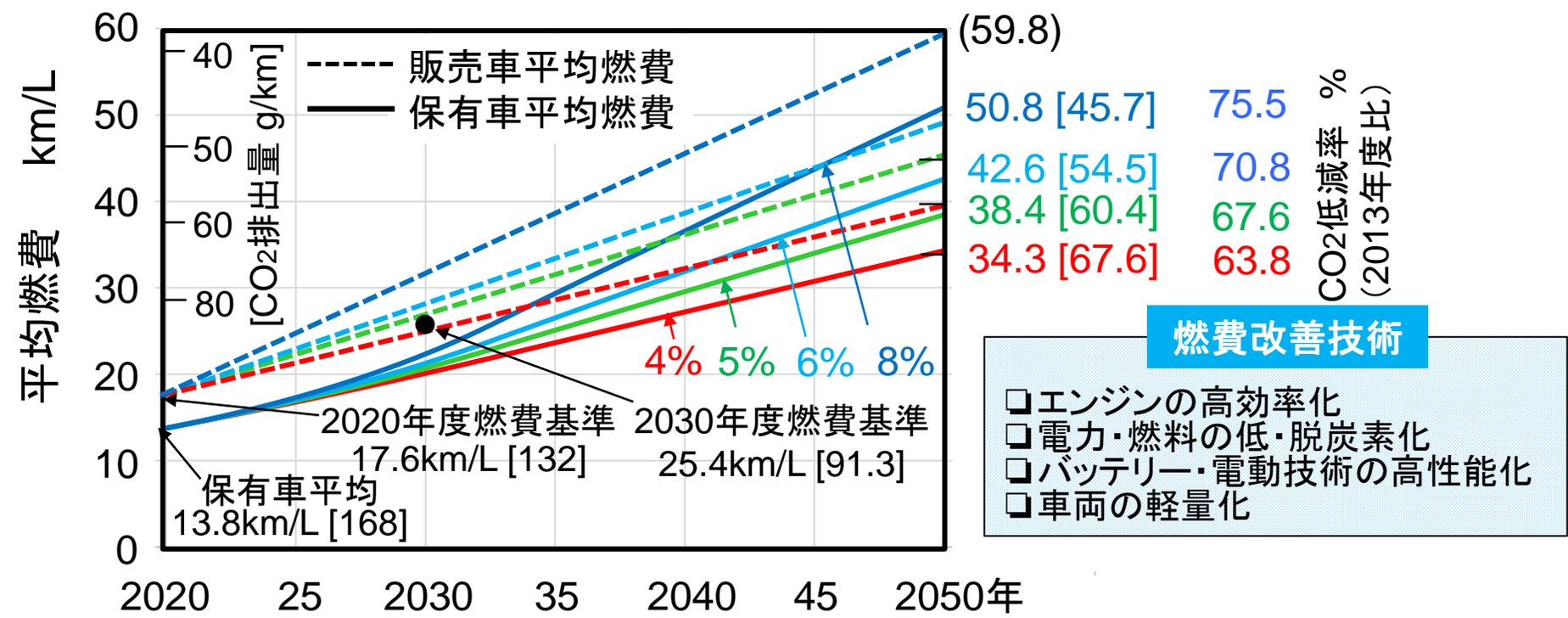
(iii) 合成メタン製造技術 SOECメタネーション(最大9年間, 約254億円): 大阪ガス・産総研

低温プロセスメタン製造(最大9年間, 約42億円): 東京ガス・IHI・JAXA

(iv) グリーン LPG合成技術(最大9年間, 約53億円): 古河電工

用途 \ 車種	HEV	BEV	FCEV
近距離(小型) 100~200km	○ ・20-30%の燃費改善 ・低エミッション化は限定的	○ ・ゼロエミッション ・物流事業者から強い要望	○ ・ゼロエミッション ・外部への給電機能
中距離(中型) 200~300km以下	□ ・燃費改善は利用形態による?	□ ・積載量・航続距離の制約 ・バッテリーコストの制約	□ ・車両と燃料のコスト制約
長距離(大型) 300km以上	□ ・高速の定速走行では燃費改善は限定的	△ ・積載量・航続距離の制約 ・バッテリー性能の制約	△~□ ・FCスタックの高負荷運転における信頼耐久性の制約
共通課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車両コストの低減</li> <li>・エンジンの高効率化 (正味熱効率: ~55%)</li> <li>・パラレルからフルシステム化 / プラグイン化へ</li> <li>・一層の低エミッション化</li> <li>・合成燃料の利用?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バッテリーコストの低減</li> <li>・バッテリーの信頼耐久性確保</li> <li>・航続距離の延伸</li> <li>・重量/容積増大の抑制</li> <li>・充電時間の短縮</li> <li>・充電ステーションの整備・拡充</li> <li>・再エネ電力の利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大幅な車両/燃料コスト低減</li> <li>・FCスタックの性能向上</li> <li>・水素ステーションの整備・拡充</li> <li>・車種の多様化/部品共有</li> <li>・複数企業の参入</li> <li>・水素製造の脱炭素化</li> <li>・水素の供給源と量の確保</li> </ul>

注) ディーゼル車(車両総重量3.5t超)と比べて    △:劣る    □:同等である    ○:優位である

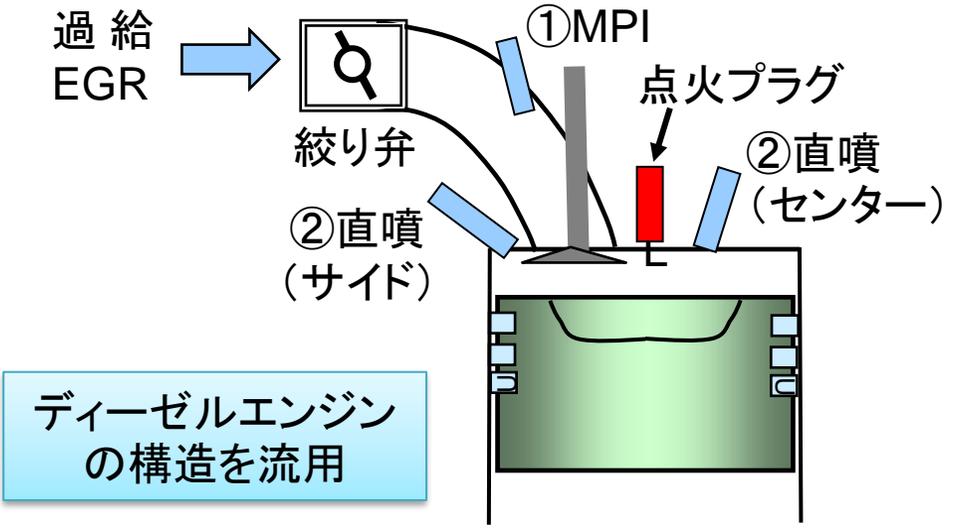


<仮定> ・2020年を起点として、販売される新車のWLTCモードガソリン乗用車燃費が年率で、4%、5%、6%、8% 向上する。

・2020年以前に登録された車両は、2010年度、15年度の燃費基準に線形的にWLTC換算で適合し、車種構成と総台数は変わらないものとする。

・最も保有車平均燃費の改善効果がある場合として、平均車齢の13年に達した車両が新車に買い替えられるとし、各年式車の調和平均を算出する。

□ 保有車平均燃費は販売車平均燃費に対して遅れが生じることに留意し、持続的な燃費改善の取組みと燃費の悪い高齢車の買い替えが必要である。



ディーゼルエンジンの構造を流用

《共通課題》

- ・過早着火や逆火, 急激燃焼を避けるための空気-水素混合気の形成, 圧縮比, 点火の最適化が必要。
- ・出力確保のため, ターボ過給が不可欠
- ・超希薄燃焼や後処理触媒によるNOx対策が必要
- ・走行距離の伸長のため, 水素容器圧を20MPaから35MPa~70MPaへ? ・供給インフラの整備

《軽油熱量換算とコスト》

- ・現在100円/Nm<sup>3</sup> ⇒ 331円/L
- ・2030年, 30円/Nm<sup>3</sup> ⇒ 99円/L
- ・2050年, 20円/Nm<sup>3</sup> ⇒ 66円/L

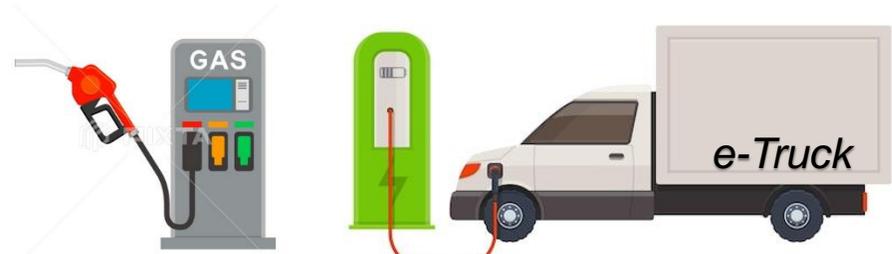
☆ 最近EUでは, 余剰の再エネ電力の有効利用の観点から, 水素に対する関心が高まり, 水素エンジン車の開発・実用化が取り組まれている。

- ① MPI (Multi-point injection) or PFI
  - Single-point injection よりも精緻な空燃比制御が可能
  - 気筒間の燃料配分のバラツキを抑制
  - △ 充填効率を増大と出力向上のためターボ過給が不可欠
- ② 直噴方式 (Direct-injection)
  - ◎ 充填効率の改善
  - ◎ 超希薄燃焼の実現
  - ◎ 逆火の回避, 過早着火・急激燃焼の抑制

課題 ・燃料噴射ノズルの配置と形式(噴口径・数)の選択と信頼耐久性の確保 ・水素の混合時間の確保と噴射システムの信頼耐久性の点から, 圧縮行程前半での噴射が好ましい。 ・ガソリンエンジン並みの熱効率を目指す。

- このような燃焼方式は, e-メタノールやe-メタンを燃料とするエンジンにも比較的 low cost で適用可能である。
- 軽油パイロット点火による上記燃料の予混合気燃焼 (Dual fuel) の可能性もあり, 特に中高負荷でディーゼルエンジン並みの高効率化が実現できる。
- ☆ 将来の水素の製造コストは, 合成燃料の1/3程度である。

- 動力システムにおいて高効率で利用できること
- LCAの観点から、低・脱炭素特性を有すること
- 輸送事業者や一般ユーザーにとって、**Total Cost of Ownership** の点で受け入れられること
- 長期に渡って安定な量的供給が可能なこと(エネルギー安全保障)
- 供給事業として収益が確保できること(ビジネス成立性)
- 輸送・貯蔵・供給における安全性と取扱いの利便性が高いこと
  - ✓ 液体燃料の利便性
  - ✓ 充電・供給ステーションの設置コストの低減と配置の最適化
  - ✓ 利用者にとっての給油・充電・充填時間の短縮
- 主要な燃料・エネルギーに対する補完的な役割
  - ✓ 災害時等の電力・備蓄燃料の供給・利用
  - ✓ BEVの急激な充電電力需要に対する緩和効果
- 低炭素電力, 合成燃料, 低炭素水素, バイオ燃料(BDF, HVO, エタノール, BTL, バイオメタン等), e-メタン e-メタノール, アンモニアが挙げられるが, LCAによるCO<sub>2</sub>排出量とコストの比較を行うべきである。



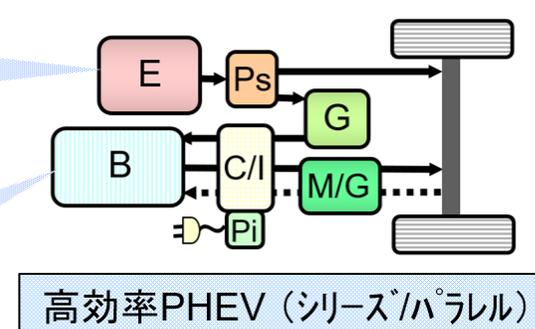
<給油:3分程度>      <急速充電:30~60分>  
 約1.8万kW相当の      50~150kWの電力  
 エネルギー流量



<水素充填:3分程度>  
 圧力:70MPa  
 重量車では数10分  
 要するのが現状

エンジン、これらの要件を満たして生き残れるか？

- 低炭素燃料  
合成燃料・水素  
バイオ eメタン eメタノール等
- 低炭素電力  
太陽光・風力・水力  
地熱・廃棄物・原子力等



E:エンジン      M: モータ  
 G: ジェネレータ      B: バッテリ  
 C/I: コントローラ / インバータ  
 T: 変速システム      C: クラッチ  
 Ps: 動力分割システム  
 Pi: プラグイン / 給電  
 ———>: 動力 / 発電      <-----: 回生

高効率PHEV (シリーズ/パラレル)

各種燃料		出力性能	CO <sub>2</sub> 低減効果	コスト 車両/ 燃料	航続 距離	持続 可能 性	課 題
バイオディーゼル(B5-B30, B100)		□	○	□/△	□	○	LCA必要, 性状劣化, 量的制約
水素化植物油 (HVO)		□	○	□/△	□	○	LCA必要, コスト減, 量的制約
水素 (圧縮)	ポート噴射(SI)	△	○	□/△	△	○	DI化で熱効率改善, 水素インフラ
	燃料電池車(FCEV)	□/△	◎	▲/△	△	○	コスト減, 耐久性向上, 水素インフラ
メタン (圧縮, SI)	天然ガス	△	□	□/□	△	□	メタンスリップ抑制, LNGVの開発
	バイオメタン	△	○	□/□	△	○	メタンの回収・量的制約
	合成メタン(e-メタン)	△	○	□/△	△	○	H <sub>2</sub> とCO <sub>2</sub> 源確保, 生成効率改善
バイオエタノール(SI)		△	○	□/△	□	○	セルロースエタノールの製造技術開発
合成液体燃料		□	○	□/▲	□	○	CO <sub>2</sub> とH <sub>2</sub> 供給, 合成効率改善
車載CO <sub>2</sub> 回収システム		△	○	▲/□	□	△	CO <sub>2</sub> 貯留システムの構築, コスト減

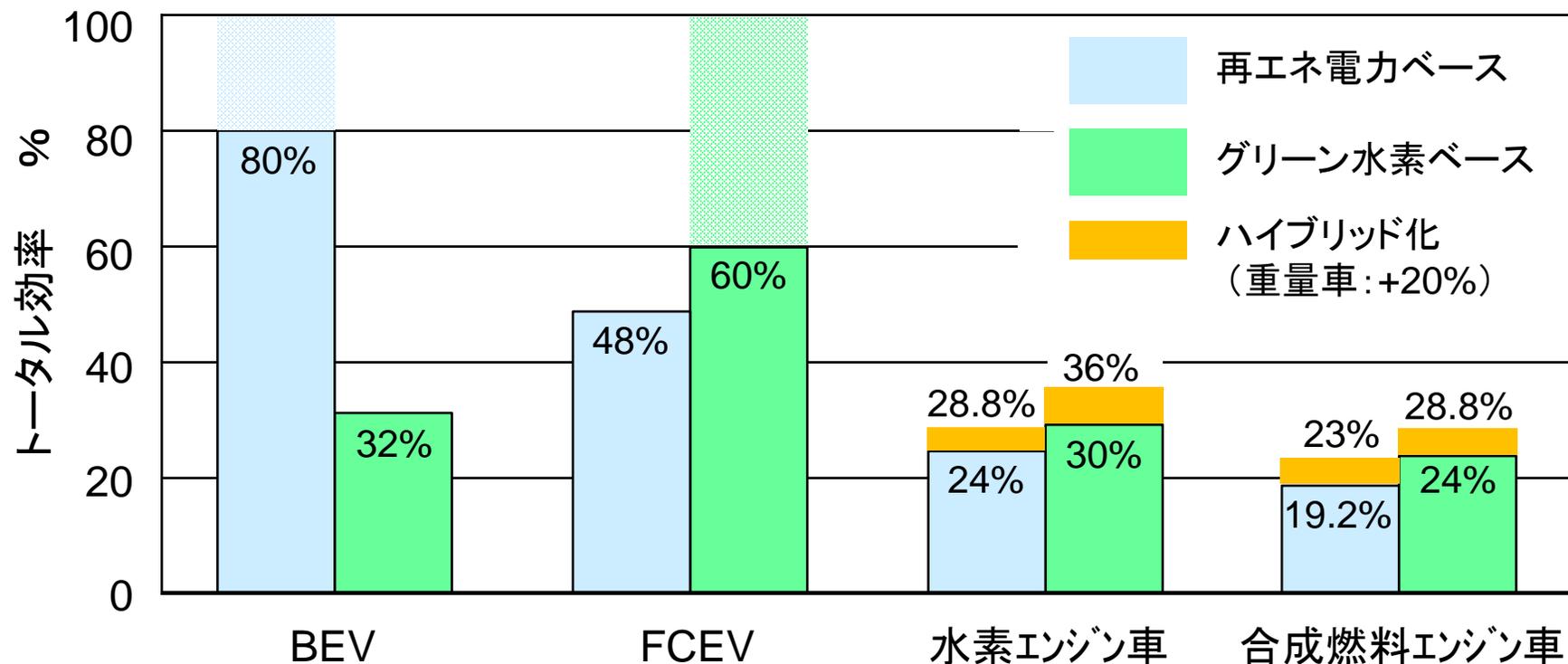
従来ディーゼル車に対して ▲:非常に劣る △:劣る □:同等 ○:優れている ◎:きわめて優れている

- ・ SI:火花点火燃焼, それ以外は圧縮着火燃焼
- ・ 水素:再生可能エネルギーで生成し利用すると仮定する。 ・航続距離の低下は積載量の減少と相関する。
- ・ 将来燃料の共通課題:軽油相当の供給量の確保, コスト低減, 利便性の確保

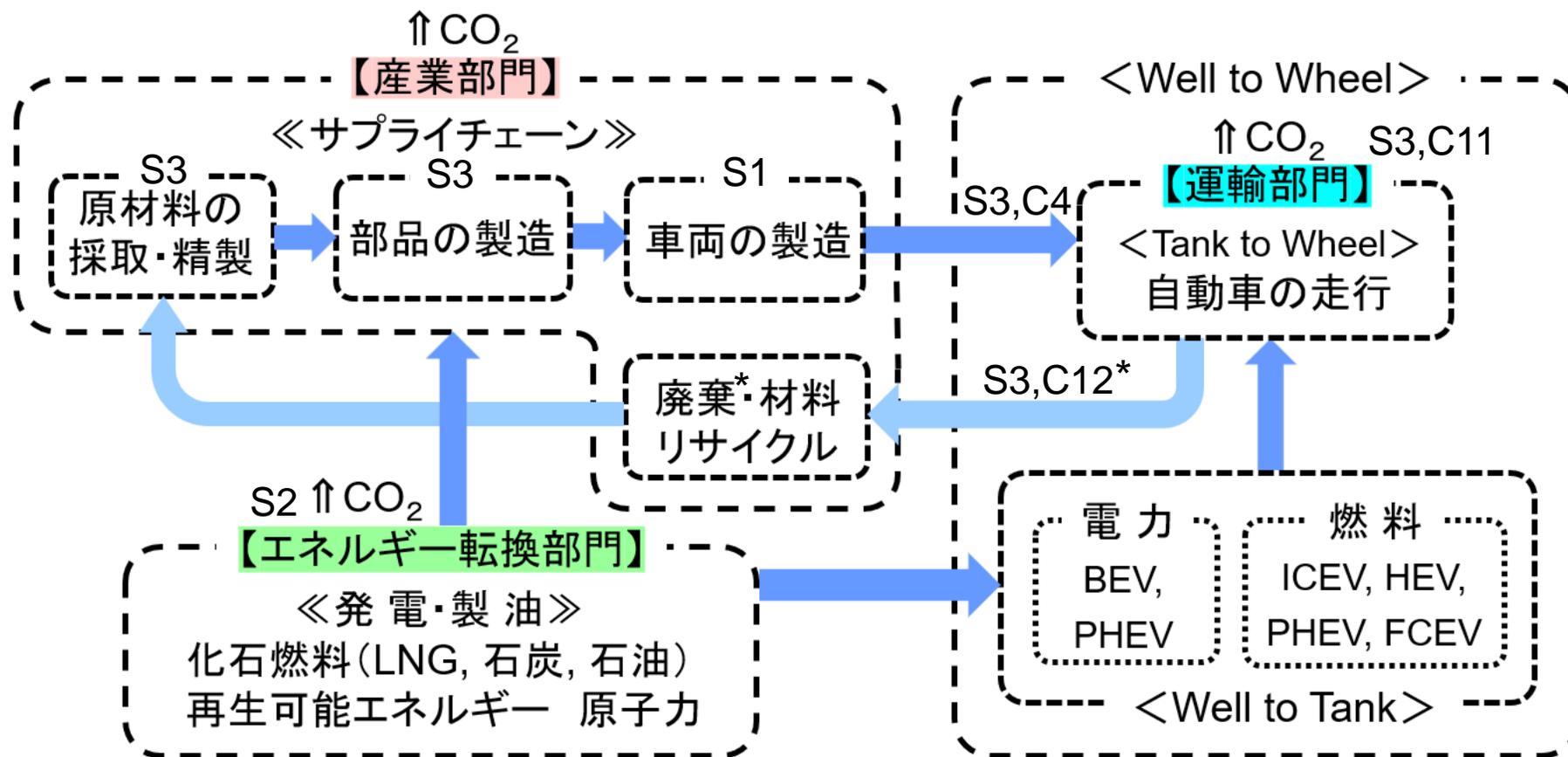
項目	電気	水素	合成燃料
生成原料の前提条件	低炭素(再生可能)電力の利用	低炭素水素の利用 FCEV(ICEV, HEV)	低炭素水素と回収CO <sub>2</sub> の利用
生成効率(電力ベース)	—	○(70~80%)	△(約50%)
エネルギーコスト	○	△	▲
供給インフラのコスト/利便性	□/□	△/△	○/◎
車両搭載性	△	△	◎
動力システム効率	◎	○(□)	□
車両コスト	□	▲(□)	○
利用車種	BEV, PHEV 乗用車・小中商用車	乗用車・トラック・バス	ICEV, HEV, PHEV 乗用車・トラック・バス
航続走行距離	短・中距離	中・長(短・中)距離	長距離

従来車に対して, ▲:非常に劣る △:劣る □:同等 ○:優れている ◎:きわめて優れている

- <課題>
- 燃料・エネルギー生成, 部品/車両製造・利用・処分に関わる“LCA”が必要
  - 燃料・エネルギーの「供給量」「CO<sub>2</sub>低減効果」「コスト」の比較が必要
  - 普及には, 利用者に対する利便性と経済的負担の軽減への配慮が重要
  - 大型貨物車の電動化, 低・脱炭素化は困難ながら重要な課題



- 国内産の再エネによる電力を用いる場合と海外調達した水素を用いる場合について比較する。
- $\text{トータル効率} = \text{燃料・エネルギー生成効率} \times \text{動力システム効率}$ 
  - ・水の電気分解による水素の生成効率: 80%
  - ・水素による火力発電効率: 40%
  - ・水素を原料とする合成燃料の製造効率: 60%
  - ・動力システム効率は, BEV: 80%, FCEV: 60%, 水素エンジン車: 30%, 合成燃料エンジン車: 40%
  - ・エンジン車では, ハイブリッド化でトータル効率が20%改善するとする。



- ❑各段階(部門)で発生するCO<sub>2</sub>を評価し, 全体としてゼロに近づける努力が必要。それには, Scope1 ~ Scope3でのCO<sub>2</sub> 排出量の評価と低減が求められる。(図中, S: Scope, Category: C)
- ❑自動車メーカーの車両製造(S1)を起点とすると, 電力・熱の利用(S2), 材料・部品の製造(S3), 自動車の走行(S3,C11), 廃棄(S3,C12)でのCO<sub>2</sub> の排出等が対象となる。(GHGプロトコルに基づく。)
- ❑EUでは, バッテリー規制が2024年から段階的に適用されている。
- ❑LCAの方法については, 国際標準化の検討が必要。⇒EUの『炭素国境調整措置(CBAM)』の提示

## 《2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略》

～自動車・蓄電池分野から～（内閣府・関係省庁，2021年6月18日）

### ＜乗用車＞

□2035年までに新車で電動車100%実現のため，国が包括的措置を講じる。



### ＜商用車＞

□車両総重量 8t 以下の車種：

- ・ 2030年までに，新車販売ベースで電動車：20～30%
- ・ 2040年までに，新車販売ベースですべてを電動車または合成液体燃料(e-fuel)等の脱炭素燃料を利用する車両とする。
- ・ 車両の導入やインフラ整備の促進など，国が包括的措置を講じる。



□車両総重量 8t 超の車種：

- ・ 商用に適する電動車の開発・利用促進に向けた技術実証を進めつつ，2020年代に5,000台の先行導入を目指す。
- ・ 水素や合成燃料等のコストを低減する技術開発・普及の取組みの進捗を踏まえ，2030年までに2040年の電動車の普及目標を設定する。



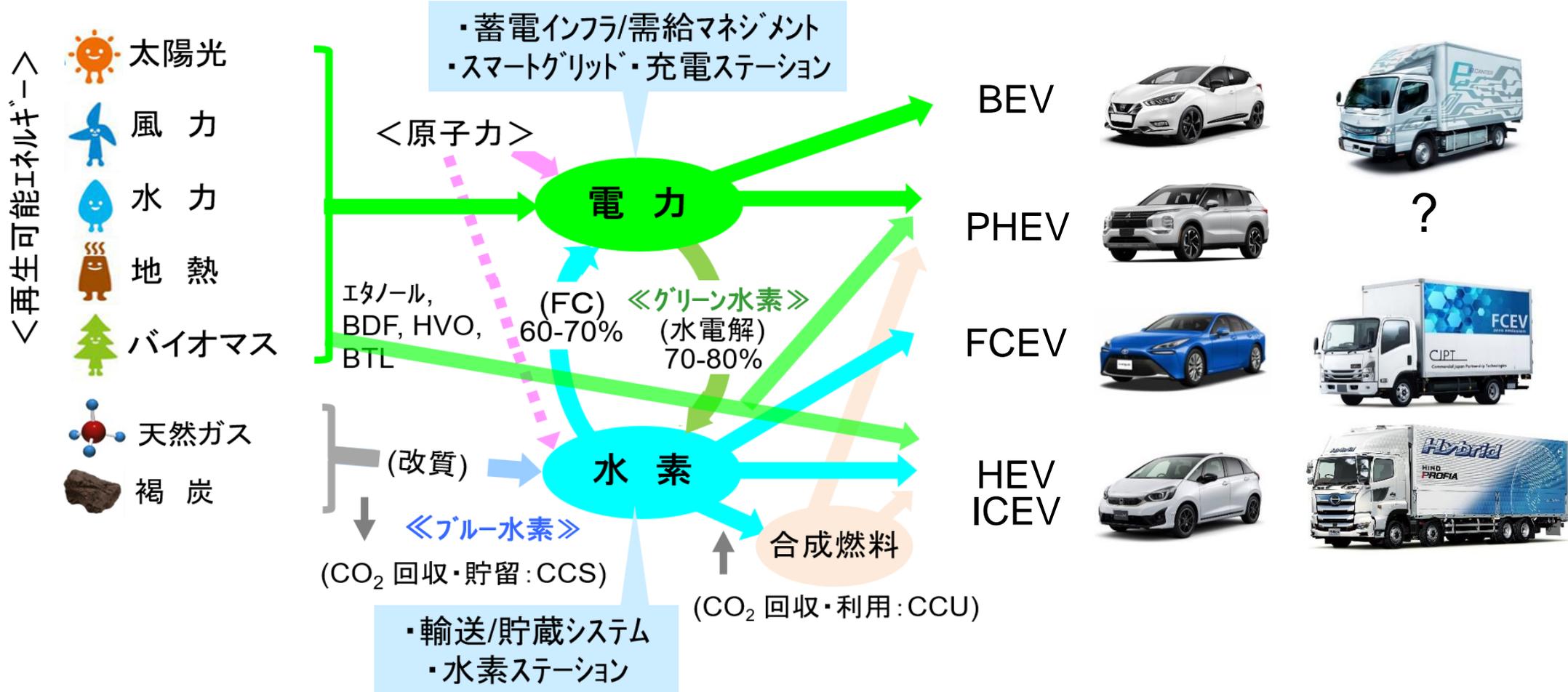
### ＜全体＞

□この10年間はBEVの導入を推進し，バッテリーをはじめ，世界をリードする産業サプライチェーンとそれを活用する「モビリティ社会の構築」を図る。

□特に軽自動車や商用車等のBEVやFCEVへの転換について，国として特段の対策を講じていく。

□部品サプライヤーや地域経済を支える自動車販売店，整備事業者，サービスステーション等の電動化対応を後押しするべく，「業態転換・事業再構築」を積極的に支援していく。

□国内の車載用バッテリーの製造能力を100GWh(1台50kWh, 200万台相当)まで高めるとともに，BEVとガソリン車の経済性が同等となる車載用のバッテリーパック価格を1万円/kWh以下にする。



□現状の天然ガス，ナフサ等の改質によるグレー水素からグリーン水素（低炭素水素）の利用へ。  
 □普及に当たっては，エネルギー・燃料の製造・輸送・貯蔵・消費に関わるLCAによるCO<sub>2</sub> 排出量とともに費用対効果の評価が必要である。  
 □2040年頃を目途に，低炭素で安価な水素の製造，輸送・貯蔵の本格化を目指す。（水素基本戦略）



- 2030年を超えて乗用車や域内輸送の主役を担うBEVでは、バッテリーコストの低減と低炭素電力の利用が求められる。それと共存するHEVやPHEV, FCEVでは、動力システムを一層高効率化することが不可欠である。
- HEVとPHEV用の燃料としては、合成燃料や低炭素水素、バイオ等の利用増大が予想されるが、各々のLCAによるCO<sub>2</sub>低減効果とコスト、供給安定性、利便性について比較し選択した上で、普及拡大を図る必要がある。
- HEVやPHEVに用いる合成燃料、FCEV用水素の普及には、長期計画に基づき、低炭素水素の大幅なコスト低減と安定した海外調達を含む量的確保を図る必要がある。特に長距離輸送を担う重量車では、航続距離とTCOを考慮した動力システムと燃料・エネルギーの選択には、実証を含めて検討の余地がある。
- 2050年の温室効果ガス削減の目標を実現するには、これらの技術課題の解決のみでは不十分であり、用途に応じた適切な車種と燃料・エネルギーの構成、運輸交通システム全体や自動車の利用のあり方を抜本的に見直し、他部門との連携を図る必要がある。
- 産学官の連携のもと、人材育成を図り、技術立国としての市場での優位を確保すると同時に、これらの取組みを新興国への支援に役立てて国際貢献を果たすことが期待される。(GXの取組みと国際貢献・・・！)